

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

VÉGÉTALISATION DU BÂTIMENT EN MILIEU URBAIN :
BÉNÉFICES ET PERSPECTIVES

MÉMOIRE
PRÉSENTÉ
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT

PAR
ANNE-MARIE BERNIER

MARS 2011

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.01-2006). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

REMERCIEMENTS

Merci à tous mes amis pour le soutien et l'intérêt manifeste. J'en nommerai une, Kim Gauthier-Schampaert, dont les conseils et les encouragements ont été particulièrement précieux tout au long de ma rédaction.

Merci à mon directeur Börkur Bergmann d'avoir su me guider au cours de toutes les étapes de la maîtrise, de m'avoir poussée toujours plus en avant. Merci de m'avoir laissé toute la latitude et la liberté d'explorer le sujet à ma façon.

Merci à toute ma famille de m'avoir donné la solide fondation et les piliers de ce que je suis aujourd'hui, d'avoir cru en moi bien avant que je décide de faire mes premiers pas à l'Université. Merci à Sylviane Parent, ma mère, de m'avoir donné la confiance, le jugement, la rigueur et le sens de la communication nécessaires à la réalisation de ma maîtrise. Merci d'avoir pris le temps de lire et de commenter le texte entier de mon mémoire avec attention, curiosité et esprit critique. Merci à Benoit Bernier, mon père, pour sa vision du monde, ma plus grande source d'inspiration.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES TABLEAUX	vi
LISTE DES FIGURES	vii
RÉSUMÉ	ix
INTRODUCTION	2
CHAPITRE I	
CADRE DE LA RECHERCHE	7
1.1 Cadre théorique	7
1.1.1 Interfaces	8
1.1.2 Développement durable, ville viable	10
1.1.3 Écologie urbaine	14
1.2 Problématique	17
1.2.1 Pertinence sociale du sujet	18
1.2.2 Pertinence scientifique du sujet	20
1.3 Méthodologie	21
1.3.1 Approche	21
1.3.2 Collecte de données	22
1.3.3 Analyse	26
1.3.4 Résultats escomptés et limites de la recherche	26
CHAPITRE II	
HISTORIQUE ET DESCRIPTION DU PHÉNOMÈNE DE VÉGÉTALISATION DU BÂTIMENT	30
2.1 Historique	30
2.1.1 Toitures végétales	31
2.1.2 Façades végétales	34

2.2 Végétalisation du bâtiment aujourd'hui	37
2.2.1 Toitures végétales	37
2.2.2 Façades végétales	42

CHAPITRE III

BÉNÉFICES DE LA VÉGÉTALISATION DU BÂTIMENT EN MILIEU URBAIN

49

3.1 Qualité de l'air et régulation de la température	51
3.1.1 Qualité de l'air	51
3.1.2 Régulation de la température	53
3.2 Isolation thermique et consommation d'énergie	56
3.3 Eaux pluviales	58
3.3.1 Gestion des eaux pluviales	58
3.3.2 Qualité de l'eau	60
3.4 Isolation phonique	61
3.5 Protection de l'enveloppe du bâtiment et ralentissement de la propagation du feu	61
3.6 Biodiversité	61
3.7 Biophilie	64
3.8 Esthétique	65
3.9 Qualité de l'espace	67
3.10 Potentiel curatif	68
3.11 Sens de la communauté	70
3.12 Requalification du lieu	70
3.13 Remplacement de la surface naturelle supprimée au sol	71
3.14 Conclusion	72

CHAPITRE IV

VÉGÉTALISATION DU BÂTIMENT EN MILIEU URBAIN : PARIS, VILLE TÉMOIN

74

4.1 Urbanisation et végétalisation	74
4.2 Pourquoi Paris?	76

	v
4.3 Observations sur le terrain	77
4.4 Études de cas	81
4.4.1 Façade du <i>BHV Homme</i>	81
4.4.2 <i>Tower Flower</i>	82
4.4.3 Jardin vertical de la rue Henri-Noguères	84
CHAPITRE V	
PROPOSITIONS POUR MONTRÉAL	87
5.1 Murs végétalisés à Montréal	88
5.2 Quartiers défavorisés	92
5.3 Proposition sur des constructions existantes	97
CONCLUSION	104
BIBLIOGRAPHIE	107

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Page
2.1 Caractéristiques des toits verts extensifs et intensifs	39
2.2 Comparaison des toits verts extensifs et intensifs	41

LISTE DES FIGURES

Figure	Page
Figure 2.1 : Toit vert extensif. Réservoir de Charonne, 20 ^e arrondissement, Paris, 2009.....	40
Figure 2.2 : Toit vert intensif. Bâtiment administratif du cimetière Père-Lachaise, 20 ^e arrondissement, Paris, 2009.	40
Figure 2.3 : Façade végétalisée recouverte de plantes grimpantes. New York, 2009.	43
Figure 2.4 : Treillis standardisés : structures coniques servant à tendre des fils métalliques (gauche); structures de métal en spirales (droite). Paris, 2009.	44
Figure 2.5 : À gauche, mur végétalisé modulaire (2, avenue Myrron-Herrick, 8 ^e arrondissement). À droite, mur végétalisé contenant un substrat vertical et retenu par une paroi de matériel plastique et un treillis (61 bis, rue du Faubourg Saint-Denis, 9 ^e arrondissement), Paris, 2009.	46
Figure 2.6 : Mur végétal de Patrick Blanc. Musée du quai Branly, Paris, 2009.....	46
Figure 4.1 : Promenade plantée (12 ^e arrondissement). Paris, 2009.....	79
Figure 4.2 : Wild Tower, Cheminée EPAD par Édouard François et Patrick Blanc. La Défense, Paris.....	80
Figure 4.3 : Façade végétale du <i>BHV Homme</i> conçue par Franck Michigan et Patrick Blanc. Rue de la Verrerie, Marais (4 ^e arrondissement), Paris, 2009.....	82
Figure 4.4 : Tower Flower par Édouard François. ZAC d'Asnières (17 ^e arrondissement). Paris, 2009.	83
Figure 4.5 : Mur de la rue Henri-Noguères financé par la Mairie de Paris. ZAC du bassin de la Villette (19 ^e arrondissement), Paris, 2009.	85
Figure 5.1 : Végétation de montagne. Jardin botanique de Montréal, Montréal, avril 2010.....	89

Figure 5.2 : Végétation de falaise. Lotbinière, Québec, 2009.....	90
Figure 5.3 : Habitations Jeanne-Mance. Montréal, Québec, 2009.....	98
Figure 5.4 : Habitations Jeanne-Mance. Montréal, Québec, 2009.....	99
Figure 5.5 : Façade sud-ouest du 270, boulevard de Maisonneuve Est. Montréal, Québec, 2009.....	101
Figure 5.6 : Contexte de la façade du 270, boulevard de Maisonneuve Est. Montréal, Québec, 2009.....	101
Figure 5.7 : Murets de béton séparant les différentes aires des Habitations Jeanne-Mance. Montréal, Québec, 2009.....	102

RÉSUMÉ

La présente recherche est une étude qualitative inductive exploratoire dont le but est de déterminer comment la végétalisation du bâti peut contribuer à l'amélioration de la qualité de vie individuelle et collective en milieu urbain. Trois objectifs secondaires sous-tendent l'étude : identifier et documenter les bénéfices de la végétalisation du bâti en milieu urbain; relever les différentes formes que peut prendre la végétalisation du bâtiment; cibler et proposer des efforts de végétalisation du bâti à envisager dans le contexte montréalais.

Le cadre théorique est celui de l'écologie urbaine, discipline qui considère la ville comme un écosystème et l'humain comme une espèce parmi les autres à l'intérieur de cet écosystème. Les données ont été collectées principalement par revue critique de la littérature et observation directe. La démarche méthodologique sur le terrain et les études de cas ont été menées à Paris, ville où les efforts de végétalisation du bâtiment sont en pleine explosion.

L'histoire et les formes variées que peut prendre la végétalisation des toits et des façades ont tout d'abord été documentées et illustrées. Les nombreux bénéfices de la pratique en milieu urbain ont ensuite été abordés : la régulation de la température, l'atténuation de l'effet d'îlot de chaleur urbain, la gestion des eaux de ruissellement, l'isolation thermique et acoustique du bâtiment, la biodiversité, la qualité de l'air et la qualité de l'espace en sont les principaux exemples.

Les observations, entretiens et études de cas effectués à Paris ont servi d'inspiration pour le dernier chapitre de propositions pour le contexte montréalais. L'utilisation de plantes des montagnes et des falaises, de plantes sempervirentes résistantes, ainsi que la protection des racines contre le gel sont les recommandations retenues concernant les façades végétales dans la métropole québécoise. Les logements sociaux ont été proposés comme bâtiments à végétaliser afin de démocratiser la pratique et de générer les bénéfices les plus probants sur le plan de la régulation de la température. Les Habitations Jeanne-Mance, un complexe de logements subventionnés au centre-ville de Montréal, ont finalement été sélectionnées afin de préciser ces recommandations.

Mots-clés : végétalisation, verdissement, environnement urbain, façade végétale, toit vert, effet d'îlot de chaleur urbain, Paris, Montréal.

Nature in the city must be cultivated and integrated with the varied pursuits and purposes of human beings; but first it must be recognized, and its power to shape human enterprises appreciated.

Anne Whiston Spirn, 1984, p. 11

INTRODUCTION

Les bâtiments sont le reflet des humains et de leurs époques. Ce sont les artefacts les plus imposants qui soient. La ville est elle-même le produit de l'évolution humaine. Les villes antiques et les villes d'aujourd'hui n'ont plus que quelques rares points en commun, mais une constante demeure : dans l'ordre et la géométrie de l'architecture urbaine, les citadins manifestent toujours un besoin de végétation. Les parcs et les forêts urbaines sont maintenant idéalement protégés et la présence de végétation est un critère en ce qui concerne la qualité environnementale. La densité croissante des villes est cependant un frein à la proportion des surfaces au sol qui peuvent être plantées.

À l'ère des changements climatiques, du développement durable, à une époque où plus de la moitié de la population mondiale habite en milieu urbain (Girardet, 2004), comment répondre à ce besoin de « nature en ville » ? La solution n'est pas nouvelle : les terrasses plantées et les jardins suspendus existent depuis l'Antiquité. Pourtant, la pratique de la végétalisation du bâtiment est encore timide dans la plupart des villes. En Europe occidentale, les toits verts sont de plus en plus nombreux, particulièrement en Allemagne. En Amérique du Nord, ils sont encore marginaux et les façades végétales sont pratiquement inexistantes, mise à part l'utilisation de plantes grimpantes (Dunnett et Kingsbury, 2008).

De nombreuses problématiques environnementales sont associées à la ville : la pollution de l'air et des cours d'eau, l'émission de gaz à effet de serre, le phénomène d'îlot de chaleur urbain, etc. Les recherches en environnement et en écologie négligent pourtant les bénéfices que les inventions humaines peuvent apporter. Pourquoi les villes ne pourraient-elles pas être considérées comme bénéfiques ? Leur densité permet pourtant des transports collectifs, elles représentent également un lieu de rencontre et d'échange favorisant la créativité.

La végétalisation des bâtiments commence à être documentée en tant qu'intervention humaine positive sur l'environnement urbain. Depuis déjà plusieurs siècles, les architectes et aménagistes de tous horizons ont réalisé que les bâtiments pouvaient recevoir la végétation là où la surface au sol était restreinte. Les toits, depuis les habitations scandinaves recouvertes de tourbe et d'algues jusqu'au gratte-ciel new-yorkais, surélèvent les végétaux que l'on ne peut planter au sol. Les façades recouvertes de vignes, glycines et autres grimpantes, ainsi que les pots de fleurs ornant les balcons, défient le besoin d'espace horizontal. Aujourd'hui, la technologie permet d'installer une végétation extensive ou intensive sur les toits plats ou à pente faible. Les façades peuvent elles aussi être recouvertes de plantes qui croissent à même le mur (Dunnett et Kingsbury, 2008).

Les installations de végétation sur les bâtiments comportent de nombreux avantages environnementaux et énergétiques en plus de présenter des bénéfices psychologiques et esthétiques pour les individus et pour les collectivités urbaines. Elles demeurent pourtant des exceptions en Amérique du Nord, tout particulièrement à Montréal.

Il reste donc beaucoup à faire : la végétalisation de façades est encore peu explorée et les recherches sur les effets psychologiques et sociaux de la végétalisation sur les toits et les murs sont rares. C'est pourquoi la question de recherche exploratoire qui sous-tend la présente recherche concerne la façon dont la végétalisation du bâtiment peut contribuer à l'amélioration de la qualité de vie individuelle et collective en milieu urbain. La question est large, parce qu'il s'agit d'une étude exploratoire concernant un phénomène relativement nouveau. Le fait est que très peu d'ouvrages traitent de tous les bénéfices de la végétation sur les toits et les façades.

Dans le but de favoriser la végétalisation du bâtiment en milieu urbain, il est nécessaire de créer une demande des usagers et d'exposer les bienfaits aux décideurs, afin qu'ils instaurent des incitatifs. Les objectifs de la recherche sont donc de documenter les différents types de végétalisation de toitures et de murs, d'identifier et de documenter les bénéfices de la végétalisation du bâtiment en milieu urbain, tout cela pour arriver à cibler des possibilités de

végétalisation du bâtiment et de proposer des recommandations concrètes adaptées au contexte montréalais.

Le sujet touche plusieurs disciplines. La végétation possédant des caractéristiques biologiques précises qui font appel à des connaissances en biologie végétale et en écologie, les bénéfices environnementaux sont évidemment documentés à l'aide de données provenant des sciences naturelles. Comme la question de recherche cible l'amélioration de la qualité de vie en milieu urbain, on traite également de sciences humaines. Le phénomène lui-même prend place sur le bâtiment, donc il touche les disciplines de l'aménagement.

Le caractère transdisciplinaire du sujet de l'étude justifie la démarche de recherche. Une importante revue documentaire critique a été menée tout au long de la recherche. Les ouvrages consultés sont issus des disciplines de l'aménagement, des sciences naturelles et des sciences humaines. Des observations sur le terrain ont également permis de vérifier et de constater les éléments extraits de la documentation écrite. Le choix de la ville de Paris comme lieu d'étude s'est présenté en cours de recherche. Montréal possède un important potentiel de végétalisation, autant sur les façades que sur les toitures. Les manifestations concrètes y sont toutefois encore rares. De l'autre côté de l'Atlantique, l'Allemagne est le chef de file des efforts de végétalisation sur les toits. Quant à Paris, la ville explose actuellement sur le plan de la végétalisation du bâtiment sur les toits, mais elle présente également des exemples de façades végétalisées impressionnantes. Des études de cas exemplaires situées à Paris ont donc été examinées. Le but visé par la présentation de ces études de cas est de valoriser la pratique, de démontrer son potentiel et les multiples formes qu'elle peut prendre.

Le présent mémoire comporte cinq chapitres. Le premier traite du cadre de la recherche. Le sujet de la recherche est à l'interface de plusieurs thèmes qui y sont exposés. Le cadre théorique est au cœur des paradigmes de développement durable et de ville viable dont on rappelle ensuite les grandes lignes. L'écologie urbaine sera également présentée en tant que discipline encadrant la question de recherche. Une fois tous les termes et les concepts définis, la problématique sera exposée et la démarche méthodologique, détaillée. Le deuxième

chapitre est un historique du phénomène de la végétalisation du bâtiment et une description de son état présent. Le chapitre suivant décrit chacun des bénéfices de la végétalisation du bâtiment. Le quatrième chapitre illustre le phénomène par des observations et des études de cas exemplaires recueillies à Paris. En définitive, le dernier chapitre présente des propositions concrètes adaptées au contexte montréalais. Des pistes permettant de développer l'idée de façade végétalisée dans le climat québécois rigoureux précèdent un plaidoyer pour la végétalisation des logements sociaux. Suivront des recommandations pour un projet de verdissement sur le terrain des Habitations Jeanne-Mance, un grand ensemble de logements sociaux situé au centre-ville de Montréal.

Le but de la recherche est évidemment de favoriser les efforts de végétalisation sur le bâti en milieu urbain, à Montréal plus particulièrement, mais aussi dans les autres villes les plus peuplées du Québec. Le biais favorable de l'auteure est conscient et volontaire. Idéalement, le contenu de ce mémoire servira à alimenter les recherches en écologie urbaine et la conception d'un modèle urbain durable, ainsi que des techniques de design durable organique qui limitent les impacts négatifs sur l'environnement.

Should I become a landscape artist or an ecological planner, a designer or an environmentalist?

Elizabeth K. Mayer, 1997, p. 51

CHAPITRE I

CADRE DE LA RECHERCHE

1.1 Cadre théorique

Le sujet de la recherche est au confluent de plusieurs champs disciplinaires. L'usage de végétaux concerne d'abord la biologie végétale. Végétaliser le médium construit touche aussi évidemment l'architecture et le design. Le fait que l'on traite d'une structure construite par l'humain et pour l'humain oblige à considérer l'aspect social. Enfin, le contexte urbain, de par ses impacts multiples sur les êtres vivants, entraîne une approche écologique du problème. Le sujet de ce mémoire est également un lieu d'interfaces entre des concepts qui peuvent sembler *a priori* opposés.

L'interdisciplinarité est le fait d'intégrer différentes disciplines dans la poursuite d'un objectif commun pour le développement d'un savoir intégré (Tress *et al.*, 2004), approche qui caractérise de façon intrinsèque les sciences de l'environnement. Celles-ci consistent en l'étude interdisciplinaire des problèmes complexes et interreliés de la population, des ressources et de la pollution; elles s'intéressent à l'impact de l'humain sur les systèmes vivants et visent la survie et le bénéfice de l'humain (Brunet, 1995). Malgré le fait qu'il soit impossible de maîtriser parfaitement plusieurs disciplines, les sciences de l'environnement sont des sciences d'intégration.

La recherche interdisciplinaire concerne plusieurs disciplines qui ne sont pas nécessairement reliées, mais ayant un but commun articulé. Les disciplines non reliées possèdent des paradigmes et des épistémologies différentes. Les résultats de la recherche interdisciplinaire

doivent donc résister aux oppositions disciplinaires, ainsi que satisfaire et faire progresser toutes les disciplines concernées (Tress *et al.*, 2004).

L'urbanisation étant un fait écologique et social, l'étude d'un phénomène y prenant place nécessite obligatoirement une approche interdisciplinaire. Baker se prononce ainsi sur la multidisciplinarité en milieu urbain :

« No where is this more important than in the arena of urban ecosystems, which requires the joint efforts of ecologists, engineers, geographers, hydrologists, anthropologists, sociologists and other disciplines in the search for understanding of humans in their most common environment. » (Baker, 2006, p. 45)

L'extrême morcellement entre disciplines qui étudient la ville et qui se trouvent cloisonnées les unes par rapport aux autres donne lieu à un éclatement et à une dispersion des divers domaines de connaissance sur la ville (qui souvent s'ignorent les uns les autres). L'interdisciplinarité n'est souvent qu'une simple juxtaposition de disciplines sans méthodologie ni problématique commune. Il est essentiel de « croiser » les savoirs et d'acquérir une « culture commune ». (Candon, 1996, p. 25)

1.1.1 Interfaces

Le sujet de la présente recherche est à l'interface entre différents concepts : ville–environnement, humain–nature, culture–nature, végétation–architecture. L'étude à l'interface de concepts *a priori* opposés a pour but de faire tomber ces dichotomies instinctives pour en faire émerger une perception novatrice et créatrice :

« [...] to put an outdated debate – art versus science, nature versus culture, design versus planning, development versus beauty – to rest, so that we can move to a new dialogue about art *and* science, land *and* culture, design *and* planning, development *and* environmental health, practical needs *and* beauty. » (Thompson et Steiner, 1997, p. 5)

Ville et environnement

La notion d'environnement est de plus en plus associée à la notion de ville : l'environnement englobe en effet la ville et réfère à un milieu et à un système de relations entre éléments biotiques et abiotiques (Brunet, 1995). La gestion des eaux de ruissellement, l'effet d'îlot de chaleur urbain, la qualité de l'air et de l'eau, la biodiversité sont autant d'enjeux propres au

milieu urbain. Les murs et les toits végétaux ont des impacts potentiels positifs sur chacun de ces points chauds.

Humain et nature

« Pour l'homme, produire de l'artificiel est une activité absolument naturelle. » (Manzini, 1991, p. 44) La polarité « naturel–artificiel » est donc probablement désormais obsolète, car l'on comprend maintenant que, malgré le fait que tout ce qui est construit par l'humain est artificiel, l'humain fait partie de la nature :

[...] tout ce que l'homme a fait jusqu'ici, l'activité intense qu'il a déployée de génération en génération pour inventer et produire, les transformations et l'artificialisation progressive de l'environnement qui en ont découlé sont autant de conséquences naturelles de cette particularité de l'espèce *Homo sapiens* (Manzini, 1991, p. 80).

La végétalisation des constructions humaines en ville permet d'intégrer des éléments naturels (végétation) à un milieu où les surfaces de sol disponibles pour créer des espaces verts sont rares. La présence d'espaces verts entraîne des bénéfices directs sur l'humain lui-même, en plus d'améliorer la qualité de son environnement biophysique.

Culture et nature

La culture est un des aspects qui différencie l'humain des autres espèces animales. Elizabeth K. Mayer (1997) voit les termes binaires « humain–nature » et « culture–nature » comme plaçant l'humain en dehors de l'écosystème, ce qui crée une relation de contrôle ou de possession au lieu d'un partenariat ou d'une interrelation. Ces oppositions nient la base culturelle et la contingence historique de notre construction de la nature et de la science.

La construction du bâtiment est le résultat des besoins et de la culture de ses concepteurs et occupants, alors que sa végétalisation est un effort pour recréer artificiellement la surface « naturelle » qui a été supprimée au sol lors de sa construction. Il s'agit d'une façon de limiter les impacts négatifs de la construction humaine sur l'environnement.

Végétation et architecture

La végétation est organique, cyclique, saisonnière, du moins dans notre climat. Elle présente une émergence et un déclin comme tous les êtres vivants. Au contraire, l'architecture est solide, construite, stable, bien qu'elle finisse par présenter une patine, une usure. Selon Mayer (1997), le paysage naturel est plus souvent considéré comme non structuré, informel, irrégulier, sauvage, chaotique, désorganisé, dominé. Tous ces qualificatifs contrastent avec ceux qui décrivent la géométrie pure d'un objet construit : anguleuse, structurée, ordonnée, organisée, dominante. Les murs et toits végétaux brisent l'ordre établi de la construction architecturale et deviennent des témoins des cycles naturels.

1.1.2 Développement durable, ville viable

Toute recherche en sciences de l'environnement doit se situer par rapport au principe de développement durable. En effet, comme les sciences de l'environnement sont récentes et interdisciplinaires, il est encore aujourd'hui difficile de cerner leur paradigme scientifique. On peut toutefois avancer que le concept de développement durable plane sur toutes les réalisations issues du programme de maîtrise en sciences de l'environnement tel qu'enseigné à l'Université du Québec à Montréal.

La définition du développement durable implique une amélioration de la qualité de vie humaine, qui passe par le développement économique, sans mettre en péril le maintien des écosystèmes, tout en assurant le respect des générations futures. Le développement durable a été défini par la Commission mondiale sur l'environnement et le développement, dans le Rapport Brundtland :

Le développement durable est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs. Deux concepts sont inhérents à cette notion : le concept de « besoins », et plus particulièrement des besoins essentiels des plus démunis, à qui il convient d'accorder la plus grande priorité, et l'idée des limitations que l'état de nos techniques et de notre organisation sociale impose sur la capacité de l'environnement à répondre aux besoins actuels et à venir. (ONU, 1987, p. n/d)

Le rapport Brundtland stipule également que l'atteinte du développement durable passe par un équilibre entre les sphères économique, sociale et environnementale (ONU, 1987). La définition de « ville viable » par Girardet est directement inspirée de celle du développement durable : « *A sustainable city enables all its citizens to meet their own needs and to enhance their well-being, without degrading the natural world or the lives of other people, now or in the future.* » (Girardet, 2004, p. 6) La perception de la ville comme un écosystème dans lequel l'humain est l'une des espèces interagissant avec les autres espèces et leur environnement est la prémisse à l'émergence du concept de « ville viable ». Depuis le début des années 1990, la communauté mondiale a manifesté sa considération pour les questions de ville viable, en commençant par l'Agenda 21, produit fondamental du Sommet de la Terre à Rio en 1992 ; puis par la Charte d'Aalborg, adoptée par les participants à la Conférence européenne sur les villes durables qui s'est tenue à Aalborg, Danemark, en 1994. Les problématiques urbaines touchent la concentration de pollution, les effets et les causes du réchauffement global, l'imperméabilisation des surfaces et la diminution du couvert végétal. Les milieux urbains présentent une concentration de population importante, donc une atteinte à la qualité de vie y touche beaucoup d'humains simultanément : « Si le 18^{ième} siècle a été le siècle de l'agriculture, le 19^{ième} siècle celui de l'industrie et le 20^{ième} siècle celui de l'urbanisation, le 21^{ième} siècle sera probablement celui de la cybernétique et des villes. » (Brunet, 1995, p. 4)

Mais qu'est-ce qu'une ville?

[...] la ville se situe au confluent de la nature et de l'artifice. Congrégation d'animaux qui enferment leur histoire biologique dans ses limites et qui la modèlent en même temps de toutes leurs intentions d'êtres pensants, par sa genèse et par sa forme la ville relève simultanément de la procréation biologique, de l'évolution organique et de la création esthétique. Elle est à la fois objet de nature et sujet de culture ; individu et groupe ; vécue et rêvée : la chose humaine par excellence.

(Levi-Strauss, 1966, p. 103)

Miles (1998) la décrit comme un dérivé de l'industrialisation de l'Occident, un produit du capitalisme, de la planification et du design, ou encore comme une citadelle où l'ordre règne, forme de sécurité contre le monde « sauvage ». « *As an outlet for the craving of man for collective enthusiasms, the world is too large, the nation state too dangerous ; the city is just*

the right size. » (Gabor, 1972, p. 40) Pour Gabor, les mégaloïoles ne sont plus à échelle humaine : « *We must return to a city of human dimension* » (Gabor, 1972, p. 42). La vie urbaine a longtemps été considérée comme non naturelle, aliénante et chaotique ou encore comme complètement séparée de la nature, comme si nature et ville étaient deux pôles diamétralement opposés. D'autres auteurs croyaient que la ville devait être reconnue comme distincte de la nature, mais que son artificialité devait être perçue comme une qualité signifiante qui devait être poussée encore plus loin (PULSA, 1972). Selon Kepes, la ville est un autoportrait collectif, image de notre chaos (Kepes, 1972). Le *World Resources Institute* propose en l'an 2000 une définition « écologique » de la ville : il s'agit d'une communauté où les humains représentent l'espèce dominante ou l'espèce clé, et où l'environnement construit est l'élément dominant contrôlant la structure physique de l'écosystème (World Resources Institute, 2000). L'avantage de cette définition réside dans le fait qu'elle transcende les limites des frontières politiques, elle intègre plusieurs approches disciplinaires et considère les populations humaines comme partie intégrante du reste de l'environnement. On peut aussi énoncer une définition selon les besoins humains caractéristiques à toutes les villes : la sécurité, des abris, de la nourriture, de l'eau, de l'énergie, la possibilité de mouvement à l'intérieur de la ville, ainsi que la possibilité de mouvement permettant les entrées et les sorties, finalement, un besoin sans cesse croissant pour plus d'espace (Whiston Spirn, 1984).

Les villes sont certainement un élément clé de la présente crise concernant la qualité de la vie humaine sur terre. L'urbanisation inégalée du siècle passé représente la plus grande migration de l'histoire humaine (Porter *et al.*, 2001). Les agglomérations urbaines sont par ailleurs fréquemment situées dans des écosystèmes fragiles. Étant maintenant la forme d'établissement humain dominante, les villes sont considérées comme une source significative d'impacts environnementaux négatifs, autant directement par la perturbation écologique qu'elles causent, qu'indirectement par la demande et la consommation des ressources non renouvelables. En effet, le développement urbain fragmente, isole et dégrade les habitats naturels; simplifie et homogénéise la composition en espèces; diminue les espaces verts en imperméabilisant les surfaces; discontinue le système hydrologique; modifie le flux d'énergie et de matière. Toutes ces conséquences de l'urbanisation ont des effets sur la santé et le bien-être des humains (Alberti et Marzluff, 2004; Tzoulas *et al.*, 2007).

Le terme « durable » s'applique donc aujourd'hui à toutes les sphères d'intervention de l'humain. Il s'associe au terme « design » pour signifier une façon de concevoir qui respecte les fondements du développement durable. En effet, un bâtiment a beau présenter des surfaces végétalisées, il n'en devient pas un bâtiment durable ou vert pour autant. Un bâtiment vert est issu d'un processus de design durable¹. Le design durable est une philosophie qui vise à maximiser la qualité de l'environnement bâti tout en minimisant ou, mieux, en éliminant tout impact négatif sur l'environnement naturel (McLennan, 2004). Par « environnement naturel » on entend ici les « processus écologiques ». En effet, le terme « environnement naturel » tend à exclure l'artificiel, l'humain, alors que ce dernier n'est pas exclu des processus écologiques, particulièrement en milieu urbain. Le design durable augmente la conscience et change les attitudes de base – ces attitudes tellement ancrées, qu'on ne réalise plus qu'elles influencent notre design et notre planification. Pour entraîner ces changements, il faut tout d'abord voir et reconnaître que notre présente façon de faire les choses détériore l'environnement et que nos interventions ont des impacts sur ce dernier. Il faut aussi intégrer le fait que chaque site et chaque partie d'un site est une partie d'un plus grand système (Schauman, 1997). Il s'agit d'ailleurs de la clé du design durable : l'approche par système, holistique, synergétique, interactive. Le design durable considère les rejets comme des ressources. Par exemple, l'augmentation du ruissellement dû au développement est un problème majeur aujourd'hui. Selon la stratégie de design durable, toute l'eau, y compris l'eau de ruissellement, est considérée comme une ressource dans le système (Schauman, 1997). Le design durable doit tenir compte des aspects physiques, biologiques et sociaux ainsi que de l'évolution dans le temps (McHarg, 1997).

La planification écologique est un autre pendant de la vision holistique de l'environnement. Il s'agit de l'approche par laquelle un site est perçu comme l'ensemble de ses processus biophysiques et sociaux, et ce, à travers l'opération des politiques et du temps (McHarg, 1997). Le design écologique suit de près la planification écologique et introduit la forme dans un site approprié, avec les matériaux et le choix de formes appropriés (McHarg, 1997).

¹ Traduction de *sustainable design*.

Tout cela pour démontrer que la végétalisation du bâtiment prise isolément n'est pas une réponse unique et suffisante. Il s'agit d'une petite partie de la solution qui doit idéalement tenir compte de tous les éléments de l'écosystème concerné.

1.1.3 Écologie urbaine

Le sujet de la recherche étant défini et mis en contexte, le cadre théorique s'est naturellement présenté. L'approche retenue devait considérer autant les aspects écologiques que sociaux, en tenant compte de la spécificité du milieu urbain. Les recherches et l'expérience de l'auteure l'ont amenée à privilégier l'écologie urbaine comme angle sous lequel aborder la végétalisation du médium bâti en milieu urbain.

L'écologie traditionnelle est une science issue de la biologie, ayant une vision holistique des écosystèmes, qui étudie les interactions des organismes entre eux ainsi qu'entre les organismes et leur milieu (Campbell, 1995). L'écologie a longtemps considéré et considère encore souvent l'humain comme agent perturbateur et non comme élément ayant un rôle prépondérant dans le développement des écosystèmes urbains (McIntyre *et al.*, 2000).

L'écologie est la discipline qui s'intéresse à la structure, au fonctionnement et à la composition des écosystèmes. Un écosystème est un système interactif dont le tout représente plus que la somme de ses parties, car il est lui-même le résultat de l'interaction entre les parties. Le tout peut à son tour être considéré comme partie d'un plus grand tout, comme la biosphère, par exemple (Steiner, 2004). Ces parties interactives sont les éléments des communautés biotiques et leur environnement abiotique. Dans un écosystème naturel, l'environnement et les êtres vivants sont considérés comme des unités interagissant entre elles, la matière et l'énergie créant un flux continu entre ces unités. Dans un écosystème urbain, l'humain crée plusieurs de ces échanges et de ces interactions (Steiner, 2004).

Un changement de paradigme s'est opéré en écologie dans les dernières décennies. Nous sommes passés de l'« écologie traditionnelle », selon laquelle les populations et les

écosystèmes doivent être en équilibre avec les ressources et les conditions locales, à la « nouvelle écologie »², qui assume que les populations et les écosystèmes sont constamment influencés par les perturbations. La « nouvelle écologie » considère les populations et les écosystèmes comme ouverts et fortement influencés par les entrées et sorties de matière, d'individus et d'énergie entre les différents éléments du système. Au contraire, l'« écologie traditionnelle » décrivait les populations et les écosystèmes comme relativement fermés et autonomes (Steiner, 2004). Dans les régions urbaines, l'information est une autre des ressources qui circulent entre les éléments, au même titre que la matière et l'énergie (Brunet, 1995; Steiner, 2004). L'innovation et la créativité sont nécessaires pour transformer et générer l'information dans les régions urbaines, afin de maintenir et augmenter leur compétitivité dans l'économie globale (Steiner, 2004). Dans les villes, les processus naturels ont été remplacés par des processus artificiels qui ne se régénèrent pas, c'est-à-dire que l'on importe la majeure partie de la nourriture, de l'énergie et de l'eau (Ndubisi, 1997).

L'écologie peut être appliquée de deux façons à la ville. Premièrement, elle peut encourager le redéveloppement de la ville avec un respect particulier pour les processus naturels : *« Ecology in the city should function with a restorative power, using the interface of nature and built form to reveal and interpret their mutual interdependence. »* (Johnson, 1997, p. 183) Deuxièmement, elle devient une métaphore dans laquelle la ville est un écosystème qui change et, idéalement, s'adapte aux nouvelles circonstances pour demeurer viable (Olin, 1997). C'est ce deuxième aspect qui sera discuté plus longuement ci-après. Considérer les villes comme ayant un impact environnemental, plutôt que simplement comme des lieux tranchant avec la nature, a donné naissance à la science des écosystèmes urbains (Pickett *et al.*, 1997).

Pour Pickett *et al.* (2004), la métaphore de la ville résiliente est le premier pont permettant une mutualisation des disciplines de l'écologie, des sciences sociales et du design urbain. La ville résiliente implique la présence d'espaces publics pour les résidents et les visiteurs; de multiples possibilités d'expériences partagées; d'un environnement construit en connexion avec la nature; de créativité, car la ville résiliente est non finie, un projet collaboratif

² D'après une traduction de Steiner (2004) : « *traditional ecology* » vs « *new ecology* ».

s'adaptant constamment au changement. La ville résiliente est effectivement flexible, changeante à long terme. Elle présente des quartiers distincts qui possèdent un sens de la fierté, un sens du lieu³, une histoire, la sécurité, des logements abordables, des aires de jeux conviviales, des parcs et des espaces ouverts (Laurie, 1997). Malgré toutes ces recommandations, il n'y a pas présentement de consensus quant à la définition de la ville, au rôle qu'elle doit jouer, ni à propos de l'esthétisme des éléments qui la composent (Johnson, 1997).

L'écologie urbaine considère l'humain comme part entière, créatrice de l'environnement urbain, contrairement à l'écologie traditionnelle qui voit l'humain dans la ville comme agent perturbateur. Voilà la différence entre l'écologie *dans* la ville et l'écologie *de* la ville (Pickett, 1997). Même s'il existe une littérature abondante sur l'écologie urbaine et le design, il subsiste toujours un manque dans notre compréhension des processus dans lesquels interfèrent des variables sociales (conditions économiques, politiques et culturelles, par exemple) et des variables écologiques (on considère ici autant l'environnement bâti que l'environnement naturel). La plupart des recherches en écologie sont conduites sur de grands territoires dits « naturels ». Le défi de l'écologie urbaine est de transposer les principes et les données écologiques à une échelle pratique pour les humains (Ndubisi, 1997). Dans le cas présent, l'échelle qui nous intéresse est encore plus restreinte : il s'agit de l'échelle du bâtiment à l'intérieur de la ville. Les bénéfices collectifs de la végétalisation du bâtiment sont toutefois plutôt considérés à l'échelle du quartier.

Le lien entre l'écologie et la planification ainsi que le design tient du fait que les perceptions, les connaissances et les actions posées par les humains font partie de l'écosystème urbain et y sont déterminantes. Les interventions de planification et de gestion ont des conséquences écologiques qui peuvent être mesurées et communiquées (Pickett *et al.*, 2004). Ndubisi (1997) suggère que si les aménagistes, les designers et les écologistes comprenaient le paysage d'une perspective partagée, l'information écologique pourrait être mieux interprétée

³ Le sens du lieu est l'équilibre dynamique des forces synergétiques naturelles, sociales et culturelles d'un site (Laurie, 1997).

en vue de produire des paysages écologiquement favorables, qui renforcent l'identité, la signification et le sens du lieu. Pourrait-on espérer le même résultat pour le bâtiment?

1.2 Problématique

La problématique de recherche a été formulée de façon itérative à la lumière de toutes ces définitions. L'auteure s'est, dès le départ, intéressée aux impacts écologiques et socioécologiques de la végétalisation du bâtiment en milieu urbain. Une liste exhaustive des impacts a donc été dressée. Les impacts, d'abord classés comme écologiques ou socioécologiques, ont ensuite été discutés sous formes de bénéfices et sans distinction quant à leur origine écologique ou socioécologique. Le biais favorable de la chercheuse pour la végétalisation du bâtiment et le souci de faire avancer les connaissances sur le phénomène l'ont poussé à documenter les solutions, à s'intéresser aux bénéfices plus qu'aux obstacles. La dichotomie entre les impacts sur l'environnement biophysique (bénéfices écologiques) et sur l'environnement humain (bénéfices socioécologiques) a ensuite été évacuée pour deux raisons. Tout d'abord, parce qu'il était impossible de traiter des bénéfices écologiques sans mentionner leurs conséquences directes et indirectes sur les conditions de vie des individus. Le classement devenait alors ardu. Deuxièmement, sur le plan strictement théorique, le cadre de la recherche étant ancré dans une perspective de développement durable, il semblait contradictoire de distinguer et de séparer les aspects sociaux des aspects environnementaux.

Grâce aux connaissances acquises durant le travail de recherche, des hypothèses⁴ ont été émises afin d'orienter la recherche. Tout au long du processus de recherche, certaines évidences ont surgi : pour favoriser la végétalisation du bâtiment en milieu urbain, il est nécessaire de susciter l'intérêt du public et de donner des arguments aux promoteurs et décideurs afin qu'ils en fassent une pratique courante. Suite à ce constat survenu tardivement dans le travail de recherche, la problématique a donc été reformulée. La question générale de

⁴ Celles-ci « au sens large d'énoncés hypothétiques et non d'hypothèses avec variables opérationnalisées » (Chevrier, 2003, p. 77).

la recherche est donc la suivante : comment la végétalisation du bâtiment peut-elle contribuer à l'amélioration de la qualité de vie individuelle et collective en milieu urbain ?

Le concept de qualité de vie retenu ici est inspiré de celui de qualité environnementale de Rapoport : comme elle relève de la perception et dépend du contexte, la qualité de vie doit tenir compte de la façon dont les personnes et l'environnement interagissent. On doit donc tenir compte des aspects sociaux, culturels et physiques (Rapoport, 2003).

Certains objectifs secondaires sous-tendent la recherche :

- 1) Documenter les différents types de végétalisation de toitures et de murs.
- 2) Identifier et documenter les bénéfices de la végétalisation du bâtiment en milieu urbain.
- 3) Cibler et proposer des efforts de végétalisation prioritaires à envisager dans le contexte montréalais.

1.2.1 Pertinence sociale du sujet

Le choix du milieu urbain se justifie par le fait que déjà plus de la moitié de la population mondiale vit aujourd'hui en ville. La proportion de population urbaine est toujours croissante (Girardet, 2004). Pour augmenter la qualité de vie du plus grand nombre, les problématiques touchant les villes doivent être mieux documentées. La ville suscite également un intérêt particulier car, ayant longtemps été considérée comme le problème plus que la solution, elle devient lentement une formule à revisiter, une version améliorée. Les modèles comme ceux de l'*eco-city* de Kenworthy (2006) prônent, entre autres, une compacité des zones habitées afin de préserver les aires naturelles environnantes et de favoriser les déplacements en transport en commun, à la marche ou en bicyclette. La végétalisation du bâtiment est habituellement considérée pour des raisons climatiques et technologiques. D'un point de vue strictement environnemental, le milieu urbain présente une imperméabilisation des surfaces qui a des conséquences, comme l'augmentation du volume et de la contamination des eaux de ruissellement (Carter et Jackson, 2007) ainsi qu'une augmentation de la température générée par le phénomène d'îlot de chaleur urbain (Takebayashi et Moriyama, 2007). La raréfaction

des ressources en énergie ainsi que les changements climatiques sont deux autres problèmes universels qui peuvent justifier l'intérêt pour la végétalisation du bâtiment. Un bâtiment végétalisé est mieux isolé, donc il réduit les dépenses énergétiques (Kumar et Kaushik, 2005). La consommation d'énergie liée à la climatisation et au chauffage représente en effet une importante part des rejets de gaz à effet de serre dans l'atmosphère (Buchanan, 2005).

L'enveloppe végétale du bâtiment peut aider à atténuer les problèmes écologiques, mais aussi à améliorer la qualité visuelle et spatiale des paysages urbains (Cunningham, 2001). Selon Botkin et Beveridge (1997), les villes sont des centres d'innovation et de créativité de la civilisation. Plus une ville est agréable, ajoutent-ils, plus ses résidents sont novateurs et créatifs. Ils concluent en affirmant que la végétation est la clé pour rendre agréable un milieu de vie urbain. La végétation ne remplit donc pas seulement des fonctions pratiques et esthétiques, mais elle comble également des besoins psychologiques et sociaux urbains (Botkin et Beveridge, 1997).

Enfin, dans un tout autre ordre d'idée, l'interdisciplinarité prônée par l'approche de l'écologie urbaine rejoint les paradigmes du développement durable et de ville viable. Selon la définition du « développement durable » de Huybens et Villeneuve (2004), le maintien des écosystèmes est une condition à respecter, l'efficacité économique est le moyen d'arriver à l'objectif qu'est le développement social, alors que l'équité est à la fois une condition, un moyen et un objectif. Pour atteindre une certaine qualité environnementale, on doit examiner les aspects sociaux, physiques, mais aussi culturels, qui caractérisent un milieu. La qualité environnementale relève en effet de la perception et dépend du contexte, c'est-à-dire de la façon dont les personnes et l'environnement interagissent. Ces interactions passent inévitablement par des mécanismes culturels, qui ne doivent donc pas être négligés dans le cadre d'une étude portant sur la ville durable (Rapoport, 2003). La végétalisation du bâtiment en milieu urbain abordée par l'approche de l'écologie urbaine est donc un lieu d'étude interdisciplinaire pertinent, qui implique un savoir écologique considérant les aspects sociaux (et même socioécologiques) de la ville et visant l'amélioration de la qualité de vie des humains en milieu urbain.

1.2.2 Pertinence scientifique du sujet

Le contexte scientifique de l'étude se situe dans plusieurs champs disciplinaires. Il existe déjà un intérêt pour le sujet dans diverses publications scientifiques. Plusieurs études sur la végétalisation du bâtiment proviennent du milieu des sciences naturelles. Ce sont des études théoriques, empiriques, suivant la tradition de la méthode scientifique hypothético-déductive (Carter et Jackson, 2007; Eumorfopoulou et Kontoleon, 2009; Lazzarin *et al.*, 2005). D'autres ouvrages sur la végétalisation du bâtiment proviennent des disciplines de l'aménagement. Ce sont des études pratiques, appliquées, traitant des méthodes, des technologies et des avantages et inconvénients des différentes méthodes de végétalisation sur le bâtiment (Bass et Baskaran, 2001; Dunnett et Kingsbury, 2008; Köhler, 2008; Osmundson, 1999). La plupart des études mentionnées plus haut portent plutôt sur les toits verts que sur la végétalisation du bâtiment en général (toits et murs végétaux; enveloppe végétale du bâtiment). Quelques études provenant des sciences sociales traitent de l'importance du couvert végétal en milieu urbain (Guite *et al.*, 2006; Jenerette *et al.*, 2007; Matsuoka et Kaplan, 2008; Ulrich *et al.*, 1991; de Vries *et al.*, 2003) mais la plupart considèrent seulement le couvert végétal au sol. D'autres articles provenant du champ disciplinaire de l'écologie abordent l'écosystème urbain comme un système intégré qu'on doit traiter de manière interdisciplinaire, c'est-à-dire avec une approche qui combine les théories de l'écologie et celles des sciences sociales (Alberti et Marzluff, 2004; Botkin et Beveridge, 1997; McIntyre *et al.*, 2000; Niemelä, 1999).

La littérature présente les progrès accomplis sur les technologies des toits verts et aborde de plus en plus celles des murs végétaux. Les chercheurs constatent également l'importance de l'interdisciplinarité pour un développement durable. Les spécialistes de l'écologie urbaine tendent vers une plus grande interdisciplinarité dans les études des phénomènes urbains complexes. La plupart des études en écologie urbaine portent sur des phénomènes localisés à même le sol, comme le ruissellement des eaux, la forêt urbaine, les aires naturelles, etc. (Andersson, 2006; Jim, 2004). Toutefois, encore peu d'entre elles portent sur la forme bâtie. Il y a pourtant un important besoin d'études écologiques spécifiques à l'enveloppe végétale du bâtiment en milieu urbain, afin de mieux comprendre et de valider son implantation comme alternative viable aux toits et façades conventionnels (Cunningham, 2001). Les impacts de la végétalisation du bâtiment se retrouvent souvent de façon incomplète et éparse

dans la documentation : on cible surtout les toits végétalisés, tandis que les façades végétales sont négligées ; on considère les impacts sur l'environnement biophysique (la gestion des eaux de ruissellement, la diminution de la température urbaine, etc.), en négligeant les impacts socioécologiques directement perçus par l'humain (l'amélioration de la qualité du paysage, le confort, etc.).

La problématique de la qualité de vie en ville est encore un sujet négligé au sein de la communauté des professeurs-chercheurs : le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG) consacre 865 millions de dollars par année aux 65 universités canadiennes, ce qui sous-entend 10 000 professeurs, 21 000 étudiants gradués et quelques centaines d'étudiants aux études post-doctorales. Il n'y avait pourtant pas un seul chercheur financé qui poursuivait sa recherche sur la problématique de la ville durable, en 2005. Le Conseil de recherche en sciences humaines du Canada (CRSH) octroie 230 millions de dollars à 5 000 professeurs. Sur le lot, seulement six projets étaient consacrés à la ville durable, en 2005. Sur les 2 000 chaires accordées par le programme des Chaires canadiennes de recherche, seulement deux portent sur le développement urbain durable (Blais et Villaveces, 2005).

1.3 Méthodologie

La méthodologie adoptée lors de l'élaboration de la recherche devait correspondre aux objectifs d'une étude inductive qualitative exploratoire. La collecte de données a combiné diverses méthodes : la revue documentaire critique, les études de cas exemplaires, l'observation directe et des échanges informels ou entretiens non dirigés. L'analyse des données s'est faite par analyse sémantique de contenu.

1.3.1 Approche

La recherche interdisciplinaire peut être menée par un individu ayant une expertise théorique et méthodologique diverse, ou encore par un groupe de chercheurs ayant la volonté de

collaborer (Dooling *et al.*, 2007). Dans le cas présent, la recherche implique une seule chercheuse dont la formation en biologie, en écologie végétale plus précisément, est complétée par l'apport du directeur de recherche ayant une formation en architecture et une expertise en design.

L'approche adoptée dans le cadre de ce mémoire est qualitative et inductive. Comme le but de la recherche est de décrire un phénomène et de dresser le portrait actuel de sa situation, il s'agit de l'approche indiquée. Il ne s'agit pas de prouver ni d'infirmer une hypothèse que l'on peut vérifier par une méthode expérimentale, mais bien de mieux comprendre un phénomène. L'approche inductive se caractérise en effet par la découverte d'interactions et de concepts plutôt que par la vérification d'hypothèses préétablies. La logique inductive suppose la formulation d'un problème provisoire à partir d'une situation comportant un phénomène particulier et intéressant, suivie d'une reformulation itérative du problème en fonction des prises de conscience effectuées au cours de la collecte et de l'analyse préliminaire des données (Yin, 2003). « Il s'agit ici de donner un sens à une situation et non d'établir un lien causal linéaire à sens unique. » (Chevrier, 2003, p. 77). La formulation du problème change au cours de la recherche selon les lacunes identifiées et les constatations observées. La formulation synthétisée et définitive du problème se fait à la fin du processus de recherche. Comme la recherche est exploratoire, elle n'a pas comme objectif de générer une théorie enracinée. Elle vise plutôt à comprendre un phénomène et à arriver à formuler des propositions qui dépassent la simple description d'un état de fait.

1.3.2 Collecte de données

La première étape de la collecte de données a consisté en une importante revue documentaire critique, plus exhaustive qu'une revue de littérature traditionnelle. Cela a été nécessaire tout d'abord pour vérifier tous les angles du sujet, cette étude exploratoire visant l'apprentissage de l'auteure. La revue critique a également servi à recueillir des données théoriques. Les documents consultés étaient en majorité des textes, parfois accompagnés d'illustrations. Ils étaient tirés de monographies générales et spécialisées, d'articles de journaux scientifiques ou périodiques spécialisés revus par des pairs, ainsi que de mémoires et de thèses. Le sujet de

recherche étant pluridisciplinaire, plusieurs types de documents issus de différents champs de connaissances ont été consultés.

La deuxième étape de la collecte de données, l'étude de cas, s'est déroulée de façon itérative avec la revue critique. Comme la végétalisation du bâtiment est encore un phénomène rare à Montréal, il semblait tout indiqué de démontrer comment le phénomène se manifeste ailleurs afin de prouver qu'il s'agit d'une pratique potentielle concrète. Les cas exemplaires ou suggestifs n'ont évidemment pas été sélectionnés aléatoirement. Ce type d'étude de cas vise à décrire ou à explorer un phénomène négligé par la science jusqu'à maintenant, afin d'en tirer une interprétation qui dépasse ses bornes (Roy, 2003). Les avantages de l'étude de cas résident dans le fait qu'elle permet l'étude d'un phénomène dans son contexte naturel afin d'observer les interactions entre divers facteurs et de saisir la complexité et la richesse des situations sociales. L'étude de cas offre une grande souplesse qui permet au chercheur de se positionner où il le désire selon ses objectifs de recherche. Elle ne résulte cependant pas en une solution, ni une réponse claire, mais en un portrait le plus fidèle et représentatif de la situation (Yin, 2003). La stratégie de l'étude de cas est utile dans les études exploratoires qui concernent les phénomènes nouveaux, car elle permet de soulever des questions et de percevoir l'influence de facteurs inattendus. Ces connaissances sont dites pré-théoriques, parce qu'elles ne génèrent pas immédiatement de théorie enracinée, mais elles fournissent les pistes à suivre pour y arriver (Roy, 2003). L'étude de cas est en fait une stratégie qui comporte plusieurs méthodes de collecte de données. Dans le cas qui nous intéresse, les trois méthodes de collecte de données étaient l'observation directe non participante, l'entretien non directif et la recherche documentaire.

Les démarches entourant les études de cas ont été effectuées à Paris (voir section 4.2 pour la justification du choix de Paris) lors d'un séjour d'une durée de trois semaines. L'observation directe est utilisée lorsque les données et les analyses existantes sont trop fragmentaires ou superficielles. Elle doit idéalement être complétée par une démarche de questionnement des acteurs et une recherche documentaire (Laperrière, 2003). Dans le cas qui nous concerne, une brève description de cas exemplaires était l'objectif, plutôt que des études de cas exhaustives. En premier lieu, les objets d'observation ciblés ont été des murs et des toits végétalisés.

L'objectif était de constater *de visu*, sur le terrain, la quantité, la qualité, la variété et le contexte des efforts de végétalisation du médium construit à Paris. Ne portant pas sur des objets sociaux, l'observation des toits et murs végétaux n'est pas soumise aux mêmes contraintes que l'observation directe de situations sociales. Faute de temps et de moyens, une présence intensive sur le terrain a été impossible. Comme le phénomène étudié présente un important aspect visuel, l'observation sur le terrain est pertinente pour capter les effets de la perception sensitive. Les impacts de la végétalisation sont effectivement suscités en grande partie par cet aspect visuel. Le lien avec la réalité est devenu d'autant plus tangible, car l'auteure a réellement été en contact avec le phénomène. Des photographies permettent d'illustrer les propos de la chercheuse dans les documents présentés.

En second lieu, une observation directe non participante a également été pratiquée lors de deux événements. D'abord, lors d'une table de concertation au sujet de la végétalisation d'une dalle au-dessus du Boulevard périphérique, située dans le 14^e arrondissement. Les acteurs présents étaient les concepteurs de l'aménagement paysager et récréatif, les élus municipaux et les citoyens intéressés. L'observation s'est ensuite poursuivie à l'occasion d'une table ronde sur la végétalisation des toits et façades à Paris. Il s'agissait d'un *Café d'architecture durable* au Café de Flore, le 28 mai 2009. Les acteurs autour de la table étaient cette fois des architectes et des architectes paysagers qui discutaient devant des membres du grand public. En ce qui concerne les spécialistes, les informations transmises ne représentaient pas des opinions émises par des individus, mais bien du contenu professionnel véhiculé de façon verbale. Les opinions ne seront pas utilisées dans le mémoire, mais les informations communiquées par les spécialistes peuvent l'être.

Des échanges informels et des entretiens non dirigés ont servi à compléter l'observation directe et à recueillir les informations sur la conception et l'utilisation pratique autour du phénomène du bâtiment végétalisé. Dans le cas présent, il s'agissait du moyen le plus efficace d'obtenir des réponses aux questions qui touchent le sujet étudié. La technique d'entretien non directif a été sélectionnée. La non-directivité est « le fait de permettre à un individu la libre expression de sa communication, sans l'influencer par des interrogations, sans privilégier soi-même un mode d'approche particulier et sans en accentuer les contenus à

l'aide de critères extérieurs » (Daunais, 1992). Le choix de la « non-directivité » est aussi une conséquence directe de la durée réduite du séjour à Paris et, par le fait même, de la difficulté d'établir des contacts à l'avance. Des entrevues ont été menées avec deux intervenants du milieu : un acteur au sein de la Mairie du 20^e arrondissement et un architecte. Peu d'entrevues ont été possibles, toujours à cause de la courte durée du séjour à Paris et des contacts difficiles à établir avant l'arrivée sur les lieux. Des échanges informels (deux rencontres et deux correspondances par écrit) ont également enrichis la recherche lors du séjour à Paris. Les informations recueillies lors des échanges ont été notées par écrit et ont alimenté les notes de planification et les notes méthodologiques. Des liens avec les connaissances théoriques étaient établis de façon itérative.

La recherche documentaire par des sources secondaires a finalisé la collecte de données. La recherche documentaire est stable et peut être revue de façon répétée, elle est discrète et exacte si le chercheur reste critique envers les sources consultées. Elle permet également une large couverture de documentation. Elle peut toutefois être l'objet d'un biais de sélection, si la collecte n'est pas complète et objective, et/ou d'un biais d'information, si elle reflète certaines distorsions inconnues du chercheur. Les sources secondaires utilisées dans le cas présent sont des documents descriptifs fournis par les acteurs questionnés, toutes les données disponibles sur les toits et murs végétalisés à Paris (site Internet de la Ville de Paris et de Patrick Blanc) et l'exposition *Habiter écologique* présentée à la Cité de l'architecture et du patrimoine, du 13 mai au 1^{er} novembre 2009.

Toutes les informations recueillies ont été colligées sous forme de photos et de notes de planification ou notes méthodologiques. Ces notes décrivaient les observations, résumaient les lectures, soulignaient les analyses, les contacts et les corrections à apporter. Elles étaient consécutives aux réflexions théoriques et personnelles. La consultation des connaissances théoriques s'est faite de façon itérative durant tout le processus, afin de lier avec la théorie les données nouvelles provenant du terrain.

1.3.3 Analyse

Les données recueillies ont été caractérisées par une analyse de contenu. Comme l'objet de recherche n'est pas social, les documents ont été considérés dans une démarche qualitative sémantique structurale plutôt que linguistique. Le terme « sémantique » désigne ici la recherche de sens dans l'analyse des discours et l'observation des réalisations. Le terme « structural » réfère quant à lui à l'organisation du sens du discours comme fait d'éléments fondamentaux et des relations des éléments entre eux (Sabourin, 2003).

En effet, les informations amassées ont d'abord été classées en trois catégories de connaissances :

- 1) Types de végétalisation du bâtiment
- 2) Bénéfices écologiques de la végétalisation du bâtiment en milieu urbain
- 3) Bénéfices socioécologiques de la végétalisation du bâtiment en milieu urbain

Les documents ayant été conservés dans leur état original, leur contenu a été considéré dans son contexte afin d'en saisir le sens élaboré. C'est pour cette raison qu'aucun logiciel informatique d'analyse de contenu permettant la segmentation des documents (ATLAS/TI ou QSR NVIVO, par exemple) n'a été utilisé.

Une rétroaction constante était opérée entre les documents écrits, oraux et visuels extraits lors de la démarche d'étude de cas, les connaissances tirées de la revue critique théorique et l'intuition exercée tout au long de la recherche : cette triangulation itérative est inspirée de la méthode de Lewis (1998). L'étude de cas exemplaires a servi à illustrer les informations ayant au préalable été filtrées lors de la revue critique.

1.3.4 Résultats escomptés et limites de la recherche

L'objectif de la recherche exploratoire est de déterminer comment la végétalisation du bâtiment peut améliorer la qualité de vie en milieu urbain. L'étude s'est donc déroulée avec

un biais positif volontaire et conscient pour l'implantation d'enveloppes végétales sur les bâtiments urbains.

Le public cible de la recherche est la communauté scientifique, les aménagistes et les décideurs politiques. Comme le sujet de la recherche est interdisciplinaire, les acteurs concernés sont issus de plusieurs champs disciplinaires. Les chercheurs y trouveront le portrait d'un phénomène relativement nouveau et des connaissances pré-théoriques qui pourront ultérieurement servir à développer des théories enracinées et à stimuler la recherche relative aux toits et aux murs végétalisés en milieu urbain. Les planificateurs urbains, les architectes, les designers, tous les professionnels de l'aménagement et même les ingénieurs pourront également y voir des idées potentielles pour les bâtiments montréalais. Les décideurs politiques y trouveront un plaidoyer pour l'implantation d'enveloppes végétales sur les bâtiments urbains.

Les résultats escomptés sont avant tout de documenter les bénéfices de la végétalisation du bâti en milieu urbain. Les façades végétales étant pratiquement inexistantes à Montréal, le but de la recherche est aussi de faire connaître ce phénomène nouveau. Si la recherche pouvait favoriser la végétalisation des bâtiments à Montréal, l'objectif de l'étude serait, *a fortiori*, plus qu'atteint.

Les limites de l'étude sont d'abord celles du cadre de l'écologie urbaine. En y soumettant la problématique, on considère d'emblée la ville comme un écosystème et l'humain comme étant un élément à part entière de cet écosystème. L'étude, étant inductive et exploratoire, dépend également des connaissances de base de la chercheuse et des diverses itérations qui ont eu lieu jusqu'au moment de mettre un terme à la recherche. Les limites temporelles du mémoire sont celles de l'état des connaissances d'aujourd'hui et de la perception présente des acteurs du milieu. La même étude réalisée dans quelques années générerait des conclusions différentes et surtout plus élaborées. La stratégie d'étude de cas est limitée spatialement à la ville de Paris, France. Par ailleurs, les propositions visent plus précisément la ville de Montréal. La recherche est de type exploratoire holistique et a pour objectif de dresser le

portrait d'une situation actuelle. Les sous-thèmes explorés pourraient chacun individuellement faire l'objet d'un travail équivalent plus spécialisé.

Dans la plupart des langues européennes, les mots servant à désigner le « jardin » et le « paradis » appartiennent à la même famille que le vieux vocable persan *paradaiza*, signifiant « l'enclos du Seigneur » [...] chacun aspire [...] à créer dans la mesure de ses moyens sa *paradaiza* personnelle.

Shusha Guppy, 1995, p. 98

Il est grand temps que nous ayons la terre au-dessus de nos têtes... Si nous devons aller sous la nature, cela veut dire, symboliquement et pratiquement, que nous devons à nouveau vivre dans des maisons où la nature est au-dessus de nous.

Friedensreich Hundertwasser, 14 mai 1987, cité dans Houdart et Houdart, 2004, p. 5

CHAPITRE II

HISTORIQUE ET DESCRIPTION DU PHÉNOMÈNE DE VÉGÉTALISATION DU BÂTIMENT

2.1 Historique

Le jardin est à l'interface entre paysage et environnement. Le paysage étant culturel, perçu du point de vue esthétique, il crée une rencontre, dans le jardin, avec l'environnement. Le jardin est traditionnellement horizontal et au sol. Il s'agit d'un concept fondamentalement culturel. La comparaison des jardins français et anglais démontre bien que les caractéristiques des jardins diffèrent selon les cultures : les uns sont symétriques, réguliers, ordonnés, très taillés, alors que les autres sont asymétriques, irréguliers et les végétaux y sont plutôt laissés à eux-mêmes. Autre exemple, les jardins persans comportent beaucoup d'arbres fruitiers et de roses, ils sont aménagés dans une cour fermée dont le centre est souvent occupé par une piscine et leur but premier est de créer de l'ombre.

Les jardins sont influencés par la verticalité de la végétation. Cette verticalité est le symbole de l'intervention humaine. L'homme se verrait comme vertical dans la nature, celui qui s'est élevé avec la bipédie qui lui a permis d'utiliser ses mains et de développer son cerveau. Chez les plantes, la verticalité est plutôt dictée par la recherche de lumière nécessaire à la photosynthèse. Elle sert pourtant l'intention de l'homme qui est celle d'imposer sa domination verticale sur la nature horizontale. Le jardin vertical serait donc de prime abord redondant, par sa double verticalité (Lambertini *et al.*, 2007). Reste à voir s'il peut servir aujourd'hui des fonctions instinctives et utiles à l'humain. Les toits verts restent horizontaux, mais sont au-dessus du sol, même au-dessus des structures abritant les hommes. Au contraire des jardins au sol que l'homme plante pour affirmer sa verticalité dominante, les jardins sur

les toits sont souvent plantés de végétaux bas qui dominent le construit. Seraient-ils les symptômes d'un retour de balancier quant à l'équilibre entre les forces faussement opposées de l'homme et de la nature ?

Dans ce chapitre, un bref historique retracera d'abord l'origine et l'évolution des toitures et façades végétales à travers le monde. Des considérations purement esthétiques aux fondements fonctionnels de la végétalisation du bâtiment, l'histoire du phénomène permet de mieux cerner tout le potentiel de son implantation en milieu urbain. Par la suite, une description des différentes formes que peut prendre la végétalisation du bâtiment aujourd'hui illustrera l'éventail de possibilités à explorer.

2.1.1 Toitures végétales

Les premiers exemples de jardins sur les toits remontent aux jardins suspendus de Babylone (construits autour du VIII^e siècle avant J.-C.) et on sait qu'il en existait dans l'Empire romain en réponse aux besoins d'une importante population dans les zones urbaines. Les Romains plantaient aussi des arbres sur le dessus de monuments institutionnels comme les mausolées d'Auguste et d'Hadrien. Des huttes couvertes de terre du temps des Vikings ont été retrouvées en Irlande et en Écosse. Au Moyen-Âge et à la Renaissance, les jardins sur les toits étaient réservés aux riches, bien que les moines bénédictins aient eux aussi profité de telles installations. On retrouve également plusieurs traces de toits verts dans la ville de Gênes, en Italie, qui datent de l'époque de la Renaissance. À partir de 1000 après J.-C., en Scandinavie et en Islande, les habitants couvraient leurs toits avec de la tourbe, des algues ou encore une couche de sol sur laquelle ils plantaient des graminées pour isoler. Les premiers colons canadiens et américains des grandes plaines, de Terre-Neuve et de la Nouvelle-Écosse ont utilisé cette même technique vers la fin des années 1800, faute de bois (Dunnett et Kingsbury, 2008; Peck *et al.*, 1999; Velazquez, 2005). À Tenochtitlan, qui occupait le territoire de l'actuelle ville de Mexico, plusieurs jardins étaient installés sur les toits plats appelés *azoteas* (Osmundson, 1999).

Au milieu du XIX^e siècle, le développement des matériaux et des techniques de construction modernes a favorisé l'érection des immeubles à toit plat (Dunnett et Kingsbury, 2008). Au XX^e siècle, des architectes modernes comme Le Corbusier, Frank Lloyd Wright, Walter Gropius et Roberto Burle Marx ont fait la promotion des jardins sur les toits et en ont incorporés dans leur design. Certains toits verts des années 1930 existent toujours : les cinq *Rockefeller Roof Gardens* à New York et le *Derry and Tom's Garden* (maintenant appelé *Kensington Roof Gardens*) à Londres (Velazquez, 2005). Les bâtiments recouverts de toits verts étaient à cette époque des immeubles de luxe, destinés à la clientèle aisée.

Au cours du XX^e siècle, l'amélioration des techniques de construction a permis la promotion des toits plats pouvant supporter des poids relativement importants dans de nouveaux projets urbains. Les toits verts extensifs sont originaires de Scandinavie et du Kurdistan (Turquie, Irak, Iran et pays avoisinants). Il ne s'agissait toutefois pas de bâtiments en milieu urbain, mais de toits en mottes de gazon et de tourbe en milieu rural (Dunnett et Kingsbury, 2008).

L'Allemagne est reconnue comme étant le pays où les toits verts sont passés de pratique vernaculaire à pratique durable. À la fin des années 1880, le pays a connu une rapide période d'industrialisation et d'urbanisation durant laquelle des logements à prix modique ont été construits. Ces derniers étaient couverts de matériaux goudronnés hautement inflammables. Pour réduire les risques d'incendie, les couches goudronnées ont été recouvertes de sable et de gravier. Certaines graines de végétaux ont réussi à coloniser les toits et ont donné naissance aux premiers toits verts (Getter et Rowe, 2006). La présence de groupes de pression écologistes radicaux, les recherches scientifiques de plus en plus nombreuses sur la technologie des toitures vertes et un public soucieux de l'environnement sont autant de conditions qui ont créé un climat social et politique favorable à l'implantation de toitures végétalisées en Allemagne (Dunnett et Kingsbury, 2008). Dans les années 1960 et 1970, de nombreux projets de toits verts ont été développés en Suisse et en Allemagne. Des recherches sur les agents anti-racines, les membranes imperméables, les systèmes de drainage, les substrats de croissance et les plantes de poids léger ont été menées dans les années 1970 (Bass et Baskaran, 2001). Les compagnies pionnières de la technologie des toits verts en Allemagne sont *ZinCo*, *Optima* (aujourd'hui *Optima* et *Optigrun*) et *Bauder* (Velazquez,

2005). Malgré cela, de nombreux problèmes techniques ont continuellement ralenti les progrès de végétalisation du bâtiment et les toits verts sont toujours réservés à l'élite.

Les facteurs motivant l'implantation des toits verts diffèrent aujourd'hui d'une région du monde à l'autre. Les toits verts sont maintenant considérés comme une stratégie de verdissement efficace dans les pays européens comme la France, l'Allemagne et l'Autriche. C'est en Allemagne que la végétalisation des toitures a pris son essor. L'objectif était au départ de limiter les eaux de ruissellement. De l'Acte fédéral de protection de la nature, en passant par le Code fédéral de la construction, jusqu'aux statuts régionaux de protection de la nature, tous les échelons gouvernementaux allemands prônent aujourd'hui la végétalisation des toitures. Ils avancent que toutes les nouvelles constructions doivent éviter des dommages inutiles à la nature ou au paysage. Quand les dommages sont inévitables, ils doivent être compensés dans une période de temps déterminée, par exemple, par un toit végétal (Dunnett et Kingsbury, 2008). L'Allemagne possède à ce jour environ 13,5 millions de mètres carrés de toits verts, les *grünen dächer* (Trottier, 2008). Les dirigeants du pays visent un objectif de verdissement de 5% des toits citadins. Ils subventionnent les façades, mais surtout les toits végétalisés pour lutter contre la pollution urbaine. Berlin a instauré un quota de toitures végétales pour diminuer la température caniculaire en été (Houdart et Houdart, 2004). En 2002, un toit plat sur 10 était végétalisé en Allemagne, relativement à un sur 150 en France (Dunnett et Kingsbury, 2008). Dans les années 1980, Hundertwasser militait déjà en Autriche pour des toits recouverts de verdure. C'est d'ailleurs à lui que l'on doit la démocratisation de la végétalisation des toits. La ville de Vienne offre aujourd'hui un soutien financier et technique aux résidents qui contribuent à la végétalisation de la ville (Murphy et Martin, 2001).

En Grande-Bretagne, on considère encore les toits verts comme un nouveau concept appliqué seulement à certaines constructions spécifiques ou à des centres environnementaux ayant une vocation démonstrative (Dunnett et Kingsbury, 2008). En Scandinavie, les toits recouverts d'herbe sont un passé révolu, sauf en Norvège où subsistent encore quelques exemples, mais seulement en milieu rural. Dans le sud de l'Europe, en Grèce, en Italie, en Espagne et au Portugal, l'argument qui a motivé les Allemands concernant la diminution du ruissellement

des eaux pluviales n'est pas aussi pertinent, car le climat est généralement plus sec. Les bénéfices que pourraient tirer ces pays d'une implantation massive de toits verts résident plutôt dans la diminution de la température de surface des immeubles et dans l'atténuation de l'effet d'îlot de chaleur urbain. Par contre, dans ces climats plus secs, la disponibilité de l'eau nécessaire à l'entretien des bâtiments végétalisés demeure le sujet d'un débat important (Dunnett et Kingsbury, 2008). À Saint-Petersbourg, en Russie, l'agriculture sur les toits est relativement répandue. La réaction au manque d'approvisionnement durant les temps durs et le peu d'accès à la terre ont motivé la pratique d'agriculture urbaine (Dunnett et Kingsbury, 2008).

En Amérique du Nord, les pionniers des toits verts modernes sont Cornelia Hahn Oberlander au Canada et Theodore Osmundson aux États-Unis, deux architectes du paysage (Velazquez, 2005). Ce sont des préoccupations économiques qui ont motivé l'implantation de toits verts en milieu urbain, mais un manque de sensibilisation publique, d'études locales sur le rendement et d'exemples accessibles ralentissent l'implantation de bâtiments végétalisés en milieu urbain. À Kyoto, en 1997, le développement à grande échelle de toits et façades végétalisés a été reconnu par les experts du réchauffement climatique comme une part de la solution pour diminuer l'effet de serre (Murphy et Martin, 2001). Toronto possède un programme incitatif à l'implantation de toits verts. En 2001, 334 millions de m² de surface de toits étaient végétalisés dans la ville de Toronto (Bass et Baskaran, 2001). Montréal aborde le sujet des toits verts dans le *Plan d'urbanisme de la Ville de Montréal* et dans le *Plan stratégique de développement durable*. La responsabilité de la végétalisation des toits est attribuée à la Direction des sports, des parcs et des espaces verts. Montréal est toujours au stade d'élaboration de sa politique des toits verts.

2.1.2 Façades végétales

L'histoire connue des façades végétales commence également avec les Jardins suspendus de Babylone par Nabuchadnezzar II, au VI^e siècle avant J.-C. Ces jardins étaient constitués de plantes non indigènes suspendues. L'objectif était d'imposer une culture botanique esthétique, non pas une transposition d'un aspect de la nature, mais un concept entièrement

culturel, une construction artificielle d'un autre monde (Lambertini *et al.*, 2007). Les murs du Ziggurat de Nanna, construit autour de 2100 avant J.-C., étaient couverts d'arbres et de buissons (Velazquez, 2005). Les marchands de Pompéi avaient l'habitude de faire pousser des vignes sur leurs balcons et des murs d'arbres étaient intégrés aux mausolées romains (Bass et Baskaran, 2001 et Peck *et al.*, 1999). Les Vikings recouvraient leurs murs et leurs toits de tourbe alors qu'on retrouvait des jardins verticaux suspendus dans le Mexique précolombien et dans les maisons coloniales du Mexique des XVI^e et XVII^e siècles (Bass et Baskaran, 2001). D'autres exemples de jardins verticaux ont été trouvés en Russie, dans certains autres anciens pays de l'ex-Union soviétique et dans la France du XVIII^e siècle (Bass et Baskaran, 2001).

C'est donc à Vienne, avec la philosophie et les réalisations de Hundertwasser que la végétalisation du bâtiment s'est vulgarisée. Son manifeste publié en 1972, intitulé « Ton droit de fenêtre – Ton devoir d'arbre » part du principe que « L'horizontale appartient à la nature (devoir d'arbre), la verticale appartient à l'homme (droit de fenêtre) » (Restany, 1978, p. 22). Le droit de fenêtre est la liberté entière de l'homme d'aménager son environnement vertical en harmonie avec le devoir d'arbre qui consiste à respecter l'environnement horizontal (Restany, 1978).

Pour Hundertwasser, l'homme a trois enveloppes : l'épiderme, les vêtements et sa maison. Il en développe ensuite une quatrième, l'identité sociale, puis une cinquième, l'environnement à l'échelle globale (Lambertini *et al.*, 2007). Il devrait donc pouvoir aménager la façade de sa maison comme il choisit ses vêtements. Hundertwasser suggère que l'hygiène et la santé passent par la participation active de l'habitant dans le processus d'intégration à la nature. « En intégrant l'homme dans le cycle naturel, on changera la vie sur terre [...] » (Restany, 1978, p. 5)

Pour Hundertwasser, la façade est plus importante que l'intérieur. Si la façade n'est pas belle, il est inconcevable que l'intérieur soit beau. Il est pratiquement impossible de [...] convaincre [les gens,] surtout les jeunes, de changer leur façade. Ils sont bloqués par le respect de la loi, le respect de l'architecte et surtout le doute profond de leur propre créativité : ils sont tous artistes mais ils ne veulent pas le savoir. (Restany, 1978, p. 25)

Cette difficulté à laquelle Hundertwasser se heurtait dans les années 1970 est encore un obstacle à la végétalisation des façades aujourd'hui. Hundertwasser prônait la théorie naturaliste de l'esthétique selon laquelle les formes autocratiques de la nature génèrent l'harmonie universelle, la beauté. L'art serait la voie vers la beauté, donc les règles de la nature devraient gouverner les règles de l'art. La végétalisation du bâtiment est pour lui la réconciliation de l'art, de la technologie et de la nature (Lambertini *et al.*, 2007). Pour Hundertwasser, la végétalisation des façades était ornementale, mais dans les années 1980, l'écologie urbaine tente de promouvoir la végétalisation des façades pour améliorer l'environnement urbain. C'est ce que la ville de Berlin a cherché à faire de 1983 à 1997 en instaurant des mesures incitatives pour la végétalisation des façades. Ce programme a généré 245 584 m² de façades vertes (Köhler, 2008).

Les façades végétales peuvent prendre différentes formes. Des plantes grimpantes qui s'agrippent directement sur les parois ou des treillis qui guident les plantes volubiles, jusqu'aux murs sur lesquels les végétaux prennent littéralement racines. Patrick Blanc possède aujourd'hui les droits d'auteur du Mur végétal. Il a été inspiré par les plantes tropicales qui poussent sans terre dans les forêts denses. Ses études du couvert végétal tropical sous la canopée lui ont permis de réaliser que ces plantes ne cherchent pas à capter la lumière en croissant en hauteur. En effet, la canopée est trop haute et la lumière est très rare (parfois à peine plus de 1% de la lumière parvient à traverser la canopée). Les plantes épiphytes poussent donc directement sur d'autres plantes, sans toucher le sol et souvent sans disponibilité de lumière. Ces plantes parasitent de gros arbres, se nourrissent de feuilles mortes ou de réservoirs biologiques de lichens, mousses ou algues. Ces réserves nutritionnelles sont les modèles des substrats utilisés pour les murs végétaux de Patrick Blanc en contexte urbain (Lambertini *et al.*, 2007).

Roberto Burle Marx a été le premier artiste paysager à mettre en pratique le principe des plantes épiphytes en lien avec l'architecture. Il respectait trois conditions dans ses réalisations : utiliser autant que possible des plantes indigènes vivant dans des conditions semblables, mais à proximité, sur une falaise rocheuse par exemple; favoriser la présence d'épiphytes qui possèdent des qualités esthétiques (orchidées, broméliacées, etc.) ;

travailler de concert avec les architectes. Burle Marx a contribué au développement des murs végétaux par ses innovations : créer des substrats nourrissants, faire de l'art en utilisant des plantes et donner de nouveaux usages aux plantes en dehors de leur habitat naturel (Lambertini *et al.*, 2007). Ces principes fonctionnent pour des murs végétaux dans les villes au climat chaud et humide du Brésil, mais ils ne pourraient jamais s'appliquer à un mur végétalisé dans un climat nordique, à Montréal par exemple.

Patrick Blanc a développé une technique qui permet la survie des murs végétaux dans un climat non tropical (voir section 2.2.2). Les murs vivants de Patrick Blanc présentent avant tout une démarche artistique intégrée comme élément d'architecture (Michigan, 2009). Les murs qu'il conçoit sont effectivement des éléments urbains et architecturaux. Urbains, parce que leur verticalité répond au manque de surface horizontale pour la plantation de végétaux en ville; architecturaux, simplement parce qu'ils prennent place sur des structures construites (Lambertini *et al.*, 2007). Blanc arrive réellement à créer une variation de couleurs et de textures à l'aide d'effets chromatiques, de transparence et de densité entre les plantes.

2.2 Végétalisation du bâtiment aujourd'hui

L'enveloppe végétale est ici considérée comme un système qui supporte une variété d'espèces végétales sur un plan horizontal, à angle (toit) ou vertical (façade), sur lequel la végétation, le substrat de croissance, les systèmes d'irrigation et de drainage sont intégrés au bâtiment et supportés par ce dernier. D'autres types de façades végétales, sur lesquelles les végétaux ne poussent pas à même le mur mais bien à partir du sol, seront mentionnées parce qu'elles possèdent aussi certaines qualités et certains avantages non négligeables.

2.2.1 Toitures végétales

Sur un toit vert, les végétaux sont plantés directement sur le toit et non pas seulement dans des contenants déposés sur le toit. Les couches varient d'un système à l'autre, mais comprennent invariablement une couche imperméabilisante, une couche de drainage, une

couche de sol/substrat et une couche de plantes. On distingue deux types de toits verts. Les toits verts extensifs sont caractérisés par un poids léger, un plus faible coût et un entretien minimal. Les plantes croissant dans un microclimat quasi désertique doivent être basses et robustes, adaptées à un climat alpin, aride ou indigène. Les toits verts intensifs sont quant à eux caractérisés par un poids élevé, un coût considérable, des plantations importantes et un entretien supérieur. La diversité de végétaux y est plus grande et peut inclure des arbres et des buissons, ce qui permet le développement d'un écosystème plus complexe que sur un toit vert extensif. On appelle aussi les toits verts intensifs «terrasses plantées» ou «toitures jardins». On parle aussi de jardin sur dalle lorsque le médium construit n'est pas un bâtiment, mais une ancienne autoroute, un aqueduc, un chemin de fer, etc. Les tableaux 2.1 et 2.2 détaillent les caractéristiques, avantages et inconvénients des toits verts extensifs et intensifs. Les figures 2.1 et 2.2 illustrent respectivement des exemples de toits verts extensifs et intensifs.

Tableau 2.1 : Caractéristiques des toits verts extensifs et intensifs

Caractéristique	Toit vert extensif	Toit vert intensif
Objectif	Fonctionnel; gestion des eaux de ruissellement, isolation, protection contre les incendies.	Fonctionnel et esthétique; espace de vie additionnel.
Capacité structurelle	Toit standard; 70 à 170 kg/m ² .	Planification requise lors de la conception ou amélioration structurelle nécessaire; 290 à 970 kg/m ² .
Type de substrat	Léger	Léger à lourd
Profondeur de substrat moyenne	2 à 20 cm	20 cm et plus
Communautés végétales	Plantes à croissance lente et mousses sélectionnées pour leur tolérance au stress.	Aucunes restrictions autres que celles dictées par la profondeur du substrat, le climat, la hauteur du bâtiment, la visibilité et le type d'irrigation.
Irrigation	Peu ou pas d'irrigation.	Nécessite souvent une forme d'irrigation.
Entretien	Peu ou pas d'entretien; désherbage ou taille si nécessaire.	Mêmes exigences que les jardins au sol.
Coût (au-dessus de la membrane d'étanchéité)	100 à 300 \$/m ²	200 \$ et plus/m ²
Accessibilité	Généralement fonctionnelle pour l'entretien, rarement accessible au public.	Généralement accessible selon les exigences légales.

Adapté de Oberndorfer *et al.* 2007. «Green roofs as urban ecosystems : ecological structures, functions, and services». *BioScience*. vol. 57, no 10, p. 825.



Figure 2.1 : Toit vert extensif. Réservoir de Charonne, 20^e arrondissement, Paris, 2009.
Photo : Anne-Marie Bernier



Figure 2.2 : Toit vert intensif. Bâtiment administratif du cimetière Père-Lachaise, 20^e arrondissement, Paris, 2009.
Photo : Anne-Marie Bernier

Tableau 2.2 : Comparaison des toits verts extensifs et intensifs

	Toit vert extensif	Toit vert intensif
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • léger • souvent aucun besoin de renforcement de la structure du toit • facile à implanter sur une structure existante et s'intègre bien à des travaux de rénovation • expertise technique nécessaire réduite • idéal pour les grandes surfaces • convient aux toits de 0 à 45° de pente • faible entretien et longue durée • systèmes d'irrigation et de drainage spécialisés rarement nécessaires • relativement peu onéreux • apparence plus naturelle qu'un toit conventionnel • possibilité de colonisation végétale spontanée 	<ul style="list-style-type: none"> • grande diversité de plantes et d'habitats et possibilité d'inclure des arbres • bonnes propriétés isolantes donc grande efficacité énergétique • rétention des eaux pluviales supérieure • simulation d'un jardin naturel au sol • grand potentiel esthétique et ornemental • souvent accessible • fonctions variées (loisirs, espace vert, agriculture urbaine, etc.)
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> • efficacité énergétique et rétention des eaux pluviales moindres • choix de plantes plus restreint • rarement accessible pour des loisirs ou des fonctions autres que l'entretien • repoussant pour certains, surtout l'hiver • potentiel ornemental et esthétique moindre 	<ul style="list-style-type: none"> • charge supérieure sur le toit • implantation très contraignante sur des structures existantes • importante expertise technique nécessaire • nécessité de systèmes d'irrigation et de drainage, d'où une consommation non négligeable d'énergie, d'eau et de matériaux • coûts d'immobilisation et d'entretien supérieurs • difficile à déplacer en cas de fuite ou de bris de la membrane d'étanchéité

Adapté de Trottier, Antoine. 2008. *Toitures végétales : implantation de toits verts en milieu institutionnel*. Montréal : Centre d'écologie urbaine de Montréal GRIP-UQAM, p. 6 et de Peck, Steven W. et al. 1999. *Greenbacks from green roofs : forging a new industry in Canada*. Société canadienne d'hypothèques et de logement, p.14.

2.2.2 Façades végétales

Les murs végétalisés peuvent désigner la croissance de plantes sur, par-dessus ou contre la surface d'un mur. Il peut s'agir de plantes grimpantes plantées au niveau du sol rampant sur le mur ou sur un treillis. Les plantes peuvent aussi être plantées dans des boîtes amovibles ou fixées au mur. Elles peuvent également croître dans un système hydroponique vertical ou encore directement dans le substrat vertical placé le long du mur. Ce dernier système est appelé mur vivant ou mur végétal, terme que Patrick Blanc, le botaniste précurseur de cette technique, s'est approprié (Peck *et al.*, 1999; Hodgson, 2009). Le potentiel des murs végétaux est encore plus grand que celui des toits, car les murs représentent une surface plus imposante, pensons simplement aux gratte-ciel. Les techniques demeurent cependant à perfectionner pour permettre des murs d'une hauteur considérable.

Les installations de façades végétalisées sont pour la plupart composées de grimpantes avec ou sans treillis. Les plantes grimpantes (figure 2.3) adhèrent spontanément à la surface et croissent à même la façade. Les avantages de ce type de végétation sont l'isolation contre le froid en hiver et la chaleur en été; un effet coupe-son; la protection des structures contre les rayons UV qui accélèrent leur détérioration; le peu d'espace nécessaire (vs un arbre, par exemple); la préparation pratiquement nulle, donc des coûts minimes, ainsi que l'absence de graffitis sur les murs couverts. Les désavantages sont le choix réduit de plantes, la demande d'un certain contrôle autour des portes et fenêtres et la difficulté d'entretien du mur (pour la peinture ou la brique, par exemple) (Hodgson, 2009).



Figure 2.3 : Façade végétalisée recouverte de plantes grimpantes. New York, 2009.
Photo : Anne-Marie Bernier

Les plantes volubiles ont besoin de support pour grimper. Des treillis facilitent leur implantation et guident leur trajectoire. La Ville de Paris a installé des treillis standardisés que l'on peut observer sur plusieurs murs végétalisés. Il s'agit de structures de métal cônes fixées au mur qui tendent des fils métalliques verticaux (figure 2.4). On observe aussi des structures métalliques en forme de spirales qui supportent les jeunes pousses pour ensuite les guider sur des fils (figure 2.4). Les avantages des plantes sur treillis sont les mêmes que pour les grimpantes, en plus d'un choix de plantes plus diversifié et d'un entretien du mur facilité. Les désavantages sont la préparation du treillis nécessitant un certain temps et entraînant un coût parfois considérable; le besoin de beaucoup de contrôle, car les plantes volubiles poussent très rapidement (Hodgson, 2009).



Figure 2.4 : Treillis standardisés : structures coniques servant à tendre des fils métalliques (gauche); structures de métal en spirales (droite). Paris, 2009.
Photos : Anne-Marie Bernier

Sur les murs vivants, les plantes croissent à la verticale. Les végétaux sont dans un environnement semblable aux plantes des falaises immergées, parfois submergées, par le va-et-vient d'eaux fertiles (Dunnett et Kingsbury, 2008).

Les murs vivants peuvent être modulaires (figure 2.5). Ils présentent alors des modules indépendants contenant un substrat de croissance. La croissance des plantes est d'abord à l'horizontale et l'on insère ensuite les modules dans la structure murale verticale (Hodgson, 2009). L'arrosage peut se faire de façon automatisée ou manuelle.

Les murs végétaux de Patrick Blanc (figure 2.6) consistent en une paroi recouverte d'une structure métallique, d'une membrane imperméable de PVC expansé et d'une nappe d'irrigation formée de deux toiles géotextiles. Le cadre métallique est chevillé sur une façade existante, mais laisse un vide de quelques centimètres entre la façade et le mur végétal. Ce vide assure l'isolation contre le froid et la chaleur et protège la façade des intempéries. La couche de PVC expansée de 10 mm d'épaisseur assure l'étanchéité, la rigidité et l'homogénéité de la surface à végétaliser. La nappe d'irrigation est faite de deux feutres en

polyamide qui peuvent absorber, faire circuler par capillarité et retenir une certaine quantité d'eau. La couche externe de géotextiles est percée pour former des «poches» qui contiennent des plants de végétaux. La face exposée de la couche externe est recouverte spontanément de mousses et d'une microflore qui aident à garder l'humidité et à retenir l'eau pour ne pas qu'elle s'écoule trop rapidement au sol. Il s'agit d'une culture hydroponique, car les plantes croissent pratiquement sans substrat. Elles sont nourries par un système automatisé de goutte-à-goutte d'eau chargée de substances nutritives. Le système automatisé est réglé selon les exigences des plantes et les conditions climatiques et environnementales du milieu. L'eau voyage par capillarité dans le feutre géotextile. Un bassin à la base du mur récupère l'eau en excès pour la retourner dans le système de drainage après filtration (Lambertini *et al.*, 2007).

Les avantages particuliers de ce type d'installation sont l'isolation du froid, de la chaleur et du son ; le peu d'espace nécessaire ; le potentiel dépolluant et de rétention d'eau. La variété de plantes utilisables est très intéressante du point de vue esthétique. Les désavantages sont le besoin d'une pompe et de tuyauterie pour l'irrigation de la surface verticale, donc d'un certain entretien, en grande partie sous les toiles géotextiles. Il s'agit également d'un concept encore expérimental et très coûteux (Hodgson, 2009). Les bâtiments végétalisés de cette façon sont plutôt institutionnels ou commerciaux, car le coût ainsi que l'entretien nécessaires sont trop importants pour les constructions privées.



Figure 2.5 : À gauche, mur végétalisé modulaire (2, avenue Myrron-Herrick, 8^e arrondissement). À droite, mur végétalisé contenant un substrat vertical et retenu par une paroi de matériel plastique et un treillis (61 bis, rue du Faubourg Saint-Denis, 9^e arrondissement), Paris, 2009.
Photos : Anne-Marie Bernier



Figure 2.6 : Mur végétal de Patrick Blanc. Musée du quai Branly, Paris, 2009.
Photos : Anne-Marie Bernier

D'autres murs combinent de différentes façons les principes de modularité, la présence ou l'absence de substrat et de géotextile. C'est le cas du système Wonderwall développé par le studio d'architecture du paysage Copijn à Utrecht, aux Pays-Bas. Leur mur est fait d'éléments modulaires composés chacun de trois couches :

- 1) un treillis d'acier ancré au bâtiment ;
- 2) une plaque de protection attachée à l'intérieur du treillis ;
- 3) une couche externe comprenant une structure de métal et une membrane de plastique recouverte d'un feutre percé de trous réguliers dans lesquels les contenants de plantes sont insérés.

Un système d'irrigation automatique installé à l'intérieur du mur permet aux plantes de croître dans une eau enrichie de nutriments. Contrairement au Mur végétal de Patrick Blanc, le système Wonderwall est moins flexible, car les schémas possibles sont rigides et réguliers. Ils permettent moins facilement un répertoire varié de compositions (Lambertini *et al.*, 2007).

La végétalisation du bâtiment ne date pas d'hier et il s'agit d'un phénomène qui s'est manifesté sur pratiquement tous les continents. Les motivations qui ont menées à leur invention ou à leur instauration sont diverses : souci esthétique, protection du bâtiment contre les incendies, isolation, récupération des eaux de ruissellement, etc. À l'image de ces différentes motivations, les formes de végétalisation sont nombreuses et diversifiées. Avec les technologies d'aujourd'hui et les efforts continus de recherche, on peut s'attendre à observer de plus en plus d'exemples novateurs et originaux qui permettent de verdir les bâtiments et les constructions urbaines en optimisant leurs bénéfices selon le contexte.

Manipulating our living spaces logically also includes using natural areas and garden designs as artistic expressions and a way to connect back to nature.

Linda S. Velazquez, 2005, p. 75.

CHAPITRE III

BÉNÉFICES DE LA VÉGÉTALISATION DU BÂTIMENT EN MILIEU URBAIN

Selon McHarg (1997), s'inspirer de la nature et combiner art et science est un moyen de créer efficace. La création de prothèses est un des milieux où cette stratégie est la mieux utilisée. L'amélioration de la vision, l'expansion du pouvoir des muscles aux outils en sont des exemples connus. On observe chez certains mollusques (par exemple, *Tridacna gigas*) l'incorporation de chloroplastes dans les membranes, ce qui permet la photosynthèse (McLennan, 2004). Comme mentionné plus haut, pour Hundertwasser, la maison est la troisième enveloppe de l'humain, après son épiderme et ses vêtements. La végétalisation de la « membrane » des bâtiments est une transposition de l'adaptation évolutive que l'on retrouve entre autres chez *Tridacna gigas*. Il est toutefois peu probable que les premiers bâtiments végétalisés aient été inspirés par les mollusques. L'histoire de notre architecture est plutôt résumée comme l'ultime poursuite du confort. Le confort peut prendre différentes formes : être à l'abri du soleil, du vent, du froid, etc. (McLennan, 2004). On appelle « biomimétisme » le fait de s'inspirer des designs de la nature pour trouver les solutions, y compris celles qui augmentent le confort. Les barrages des castors, les ruches des abeilles, les termitières sont autant d'inventions de la nature dont l'humain s'est inspiré au cours de l'histoire. Ces inventions de la nature sont des exemples de design durable : ils fonctionnent à l'énergie solaire et utilisent seulement l'énergie nécessaire, l'évolution leur a conféré une forme optimisée à la fonction, tout y est recyclé, ils sont fabriqués avec des matériaux locaux, etc. Le biomimétisme peut aussi être le fait d'utiliser un standard écologique basé sur les caractéristiques des designs de la nature énoncées plus haut pour juger nos inventions et donner de la valeur à ce qu'on peut apprendre plutôt qu'à ce qu'on peut extraire de la nature

(McLennan, 2004). Le fait de végétaliser un bâtiment le replace dans le cycle des processus écologiques dont il était exclu : il devient une source de photosynthèse, un filtre et un réservoir pour l'eau pluviale, un habitat « naturel » pour la faune locale.

Comme il en a été question dans la présentation de la problématique, les bénéfices explorés dans ce chapitre concernent la qualité de vie en milieu urbain. Le concept de qualité de vie touche l'environnement physique, mais aussi l'environnement humain. Doit-on croire que la végétalisation du bâtiment est devenue une pratique courante en Allemagne seulement parce qu'elle était favorable à l'environnement ? Est-ce que cette pratique y aurait autant de succès si son aspect esthétique et le bien-être individuel qu'elle procure avaient été nuls ? Selon Rapoport (2003), « [...] parmi tous les facteurs influençant la forme de la maison, les aspects rituels et symboliques l'emportent sur les considérations climatiques, spatiales et technologiques. »

La présence de la végétation dans l'habitat humain existe à l'origine pour diverses raisons : la culture de la nourriture, qui touche la culture du corps, mais aussi celle de l'esprit. L'humain a effectivement une relation physique, mais aussi psychologique avec la végétation. L'archétype du jardin a évidemment une valeur écologique scientifique, mais on oublie souvent le pouvoir que la représentation symbolique peut avoir sur les relations culturelles, entre humains et entre les humains et la nature (Corner, 1997). Il est possible que la végétation sur les surfaces mêmes du bâtiment ne soit pas instinctivement ce que les humains recherchent et apprécient de la végétation dans leur habitat. Une audience moderne peut encore être rébarbative à des designs qui offensent ou défient les idées de ce qui est considéré comme normal, acceptable, ou encore, à des designs qui perturbent ou pervertissent l'ordre naturel (Olin, 1997). L'objectif du chapitre sur les bénéfices de la végétalisation est de convaincre du bien-fondé de la végétalisation du bâtiment en milieu urbain. Comme il a déjà été mentionné, ce chapitre, comme tout le reste du mémoire, a été réfléchi avec un biais favorable à la végétalisation de l'enveloppe du bâtiment. Sans nier les obstacles qui sont invoqués pour justifier l'inaction quant aux mesures de végétalisation, le but est bien de mettre l'accent sur les raisons pour lesquelles il faut aller de l'avant, continuer les recherches et oser prendre le risque de l'expérimentation. Il reste pourtant encore beaucoup de

recherches à mener, autant qualitatives que quantitatives, en particulier sur les façades végétales de tous genres, ce qui explique le peu d'information actuellement disponible à ce sujet.

Dans un premier temps, les bénéfices écologiques ont été distingués des bénéfices socioécologiques. Les premiers concernent les interactions qui ont lieu entre l'enveloppe végétale d'un bâtiment et son environnement biophysique. Les seconds se rapportent plutôt aux interactions qui concernent l'humain et ses perceptions, en tenant compte des processus sociaux et culturels qui caractérisent la relation de l'humain avec l'environnement urbain et bâti. Par la suite, il a été décidé, dans le souci de respecter la prescription du développement durable qui est de considérer tous les aspects (économiques, sociaux et environnementaux) d'une question, de ne pas diviser les bénéfices en de telles catégories, mais de les présenter sous différents thèmes qui feront ressortir par blocs les divers avantages. Les bénéfices sont autant d'ordre privé que public. Les bénéfices individuels ont généralement pour effet d'augmenter la demande, alors que les bénéfices collectifs incitent les autorités locales à mettre en place des mesures incitatives. Ces résultats sont deux des objectifs visés par le présent travail de recherche. Chacun des bénéfices sera présenté comme une solution à un problème propre à l'environnement urbain.

3.1 Qualité de l'air et régulation de la température

3.1.1 Qualité de l'air

L'humain est maintenant reconnu comme ayant une influence sur la quantité de gaz à effet de serre émis dans l'atmosphère terrestre. L'importance du phénomène d'effet de serre ressenti aujourd'hui provoque des changements climatiques, décrits par le GIEC (1995) comme des « changements de climat qui sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale et qui viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observée au cours de périodes comparables ». Les changements climatiques se manifestent par une augmentation des températures moyennes, mais aussi par une augmentation de la fréquence des événements climatiques extrêmes, notamment les

vagues de chaleur. Ces dernières exacerbent directement les problèmes de qualité de l'air en accélérant la formation de smog et, indirectement, en augmentant l'émission de polluants due à une utilisation accrue des systèmes de climatisation.

Lors de la photosynthèse, les plantes utilisent le dioxyde de carbone (un gaz à effet de serre) contenu dans l'air, ainsi que l'eau et les nutriments contenus dans le sol. Le verdissement urbain a donc le potentiel de diminuer l'impact de la libération de dioxyde de carbone par les véhicules, les industries et tous les systèmes mécaniques. La qualité de l'air s'en trouve ainsi améliorée et les problèmes respiratoires diminués. Il faut cependant noter certaines limites :

- Les plantes produisent de l'oxygène durant le jour. La nuit, le processus s'inverse : en absence de lumière, les plantes passent de la photosynthèse à la respiration, durant laquelle elles absorbent l'oxygène et libèrent du dioxyde de carbone. Il y a malgré cela une balance positive nette quant à la production d'oxygène.
- Le climat au Canada fait en sorte que les plantes entrent en dormance durant l'hiver et cessent toute activité photosynthétique.
- La décomposition de matière organique à la surface et à l'intérieur du sol nécessite de l'oxygène.
- Sur les toits verts extensifs, si la couche de végétaux sèche durant l'été, à cause d'une absence prolongée de précipitations, elle ne peut plus faire de photosynthèse (Bass et Baskaran, 2001).

Les plantes en général captent également certains polluants contenus dans l'air et le sol pour les séquestrer dans leurs tissus. Elles ont donc le potentiel de diminuer les problèmes liés à la qualité de l'air, mais aussi ceux liés à la qualité de l'eau (voir section 3.3 sur les eaux pluviales) (Bass et Baskaran, 2001). Les arbres et les arbustes ont toutefois un meilleur potentiel de dépolluants et de capteurs de carbone. Le captage des polluants aurait un effet tangible en végétalisant un très grand nombre de bâtiments dans une zone assez dense. Les surfaces végétalisées isolées n'ont que peu d'impact sur la qualité de l'air. L'idéal serait aussi que ces surfaces présentent des végétaux sempervirents pour que leur action soit continue, même l'hiver (Dunnett et Kingsbury, 2008).

3.1.2 Régulation de la température

Le climat urbain est caractérisé par des températures élevées, une humidité de l'air importante, une circulation d'air diminuée, un taux élevé de pollution atmosphérique et une forte concentration de particules en suspension, ainsi que d'importantes émissions de gaz à effet de serre. Les caractéristiques du milieu urbain expliquent les spécificités de son climat :

- le nombre élevé de constructions qui absorbent la chaleur et l'irradient (causant l'effet d'îlot de chaleur urbain);
- la faible proportion de surfaces d'évaporation;
- le manque de couvert végétal, par conséquent, le faible ombrage et le peu d'évapotranspiration;
- la grande proportion de surfaces de ruissellement;
- l'activité humaine intense qui entraîne l'émission de polluants et de chaleur supplémentaire (véhicules, usines, air conditionné, etc.);
- les écrans formés par les immeubles et les voies de circulation qui limitent les vents rafraîchissants (Dunnett et Kingsbury, 2008).

La ville est une mosaïque de microclimats. Les espaces verts sont des îlots de fraîcheur, alors que les surfaces imperméables foncées causent l'effet d'îlot de chaleur urbain. Ce phénomène est caractérisé par des températures urbaines estivales de 5 à 10 °C supérieures à celles du milieu environnant. L'effet d'îlot de chaleur urbain est dû à la radiation solaire absorbée par les surfaces imperméables foncées comme les toits et les surfaces pavées de la ville et est également favorisé par la présence d'un flux de chaleur lié au chauffage urbain, à la circulation automobile et à l'activité industrielle. La radiation absorbée est ensuite irradiée en chaleur. L'intensité de l'augmentation de température due à un îlot de chaleur dépend du climat, de la topographie et du design urbain (Earth Pledge, 2005). L'effet d'îlot de chaleur se manifeste sur les surfaces, mais aussi dans l'atmosphère au-dessus de la ville. Les surfaces dures et foncées présentent un albédo plus faible que les surfaces végétalisées, donc absorbent et irradient plus de chaleur dans l'atmosphère. Cette chaleur affecte la température de l'air jusqu'à une certaine altitude (thermocline), au-dessus de laquelle l'influence thermique de la ville n'est plus ressentie (Bass et Baskaran, 2001). Par une chaude journée

d'été, un toit conventionnel peut passer de 25 °C à 60 – 80 °C. Ce réchauffement entraîne la création d'une colonne montante d'air chaud. Les mouvements de convection de l'air brassent les particules fines et la poussière, augmentant ainsi la pollution atmosphérique. Selon Peck *et al.* (1999), la thermocline entre la ville et les alentours augmente l'instabilité atmosphérique, donc les chances de précipitations et d'orages intenses. Par contre, selon Murphy et Martin (2001), la pollution des zones urbaines, conséquence de l'augmentation de la température et de l'écart entre les zones urbaines et la banlieue, peut interférer avec la formation des gouttes d'eau et exacerber les sécheresses. L'effet de l'augmentation de la température sur les précipitations n'est certainement pas le même dans toutes les régions urbanisées mais, chose certaine, la hausse des températures n'est pas sans conséquence sur le climat et sur l'humain.

L'urbanisation induit des changements qui ont un impact sur le climat à l'échelle régionale. Ces changements sont consécutifs à l'augmentation de la température, qui a des effets locaux directs : le stress par la chaleur sur le vivant, la formation de polluants atmosphériques, l'augmentation des besoins énergétiques nécessaires au refroidissement. La température influence également le taux d'activité métabolique, qui a un impact sur les cycles hydrologiques, la distribution des populations et les interactions entre les communautés, chez les humains et tous les êtres vivants.

La lutte contre l'effet d'îlot de chaleur urbain passe par deux mesures : une augmentation de la réflectivité des surfaces et une augmentation de la présence de la végétation en ville. L'augmentation de l'albédo des surfaces est favorisée par des revêtements aux couleurs pâles ou par la présence de végétaux sur ces surfaces.

Les toits verts, qui sont exposés à la lumière du soleil tout au long de la journée, agissent sur l'effet d'îlot de chaleur directement à la surface (*boundary layer*), alors que les murs végétaux contribuent plutôt à réduire l'effet d'îlot de chaleur atmosphérique (*canopy level*) (Bass et Baskaran, 2001). Quand les surfaces dures et absorbantes se réchauffent, des mouvements d'air verticaux sont créés et entraînent les particules de poussière du sol dans l'air et les disséminent dans l'environnement. Les études montrent que les surfaces

végétalisées en Europe de l'ouest à des latitudes moyennes (ni dans l'extrême nord, ni dans l'extrême sud de l'Europe occidentale) n'atteignent pas plus de 25 °C et qu'aucun mouvement d'air n'y est observé (Peck *et al.*, 1999). Le mouvement d'air est plus accentué sur les surfaces verticales (murs) que sur les surfaces horizontales (toits). Un mur végétal bloque le mouvement de particules le long du bâtiment, car il en limite le réchauffement et crée de la turbulence. Un toit vert diminue la possibilité de réchauffement de la surface du toit, ce qui limite le mouvement thermique vertical de l'air. Les murs et les toits végétaux filtrent aussi les particules de poussières. Ces dernières adhèrent à la surface des feuilles, des branches et des tiges et sont lessivées dans le sol ou le substrat de croissance lors des précipitations (Peck *et al.*, 1999). L'effet positif de la végétalisation sur le climat urbain est perceptible à partir du moment où aussi peu que 5 % de l'ensemble des surfaces bâties sont végétalisées (Peck *et al.*, 1999).

La végétalisation des toits et des murs contribue à l'atténuation de l'effet d'îlot de chaleur urbain en augmentant l'humidité disponible par l'évapotranspiration, mais aussi en créant un ombrage qui empêche les surfaces d'absorber la radiation solaire pour l'irradier par la suite en chaleur. L'évapotranspiration est la combinaison de l'évaporation de l'eau du sol et de la transpiration des plantes (Raven *et al.*, 2000). De l'énergie solaire, la plante utilise 2 % pour la photosynthèse, 48 % est emmagasinée dans l'eau de la plante, 30 % est transformée en chaleur par transpiration et seulement 20 % est réfléchi (Peck *et al.* 1999). L'énergie solaire utilisée pour l'évapotranspiration est séquestrée dans la vapeur, ce qui l'empêche d'être convertie en chaleur sur la surface bâtie. L'évapotranspiration entraîne le refroidissement des feuilles et de l'air adjacent. Les plantes contrôlent leur transpiration en ouvrant et en fermant les stomates de leurs feuilles. Il faut toutefois mentionner le fait qu'en cas de grand stress thermique les stomates se ferment pour se protéger de la dessiccation, ce qui limite le refroidissement par transpiration dans les cas de chaleur extrême (Murphy et Martin, 2001). Le choix de plantes succulentes peut alors être justifié, même si elles ne sont pas indigènes dans la plupart des villes occidentales. En effet, un toit est un microclimat désertique ou alpin à l'intérieur d'un autre climat. Les végétaux qu'on y implante doivent donc y être adaptés.

La végétalisation de 6 % de la surface disponible sur les toits en milieu urbain peut diminuer la température de 1 à 2 °C. La diminution de 1 °C de l'effet d'îlot de chaleur urbain diminue de 5 % la demande en électricité pour la climatisation et la réfrigération. La diminution de la consommation d'énergie entraîne la réduction d'émission de gaz à effet de serre et autres polluants atmosphériques. Une superficie de 6,5 km² de toits verts dans une ville comme Montréal représente une économie d'un million de dollars en coûts énergétiques, une réduction d'émission de gaz à effet de serre de 2,18 tonnes métriques et elle élimine de l'atmosphère 30 tonnes métriques de polluants (Landreville, 2005). Des statistiques équivalentes concernant les murs végétaux n'existent pas encore étant donné la rareté du phénomène en Amérique. Par contre, comme pour la qualité de l'air, l'impact de la végétalisation du bâtiment sur la modération de la température est plus évident lorsque les espaces verts sont étendus. Les surfaces végétales de faible surface ont une influence sur le climat seulement si elles sont en grand nombre et associées à un réseau plus vaste (Dunnett et Kingsbury, 2008).

Les toits verts améliorent aussi l'efficacité des capteurs photovoltaïques. Ces derniers fonctionnent mieux sous des températures fraîches, mais surtout sans grandes fluctuations de températures (Cantor, 2008). Les plantes peuvent être diversifiées par la présence d'ombre créée par les capteurs photovoltaïques. Un certain entretien est toutefois nécessaire afin que les végétaux ne recouvrent pas les capteurs. Le gain en énergie solaire peut éventuellement compenser pour l'investissement dans le toit végétal (Dunnett et Kingsbury, 2008).

3.2 Isolation thermique et consommation d'énergie

La toiture végétalisée isole par l'extérieur et évite les chocs thermiques. L'isolation résulte de deux mécanismes : l'inertie et la diffusivité. L'inertie fait que le toit accumule la chaleur pour la restituer quand la température diminue. La diffusivité freine la perte de chaleur grâce à la forte chaleur volumique du toit végétal (Houdart et Houdart, 2004). Une meilleure isolation diminue la consommation d'énergie liée au chauffage et à la climatisation, donc réduit les coûts énergétiques.

Le rôle de l'isolation est de limiter l'échange de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment, phénomène qui est fonction de la différence entre les températures intérieure et extérieure. En été, l'isolation diminue le transfert de chaleur vers l'intérieur, tandis qu'en hiver, elle diminue le transfert de chaleur vers l'extérieur (Peck *et al.*, 1999). Les propriétés isolantes sont maximisées avec la présence d'un substrat de croissance ayant une faible densité, une bonne humidité et des plantes ayant un indice de surface foliaire élevé (plus les feuilles sont grandes, plus l'isolation est efficace) (Green Roofs for Healthy Cities, 2009). La végétalisation agit de plusieurs façons comme isolant.

- L'air contenu dans le substrat de croissance et la masse de plantes agit comme isolant. En hiver, les feuilles tombées et le substrat gelé diminuent les propriétés isolantes de beaucoup.
- Le simple fait de couvrir la surface du bâtiment et d'y créer de l'ombre est en soi une façon de refroidir le bâtiment en été et de limiter la perte de chaleur interne en hiver. Les murs sud et ouest sont ceux qu'on doit ombrager le plus intensément en été si l'on veut limiter leur réchauffement. La défoliation peut favoriser le réchauffement de ces murs durant les jours d'hiver.
- Le vent diminuant l'efficacité énergétique d'un bâtiment, une couche de végétaux agit comme un tampon qui empêche le vent de circuler directement le long des parois du bâtiment. En hiver, le tiers de la demande de chauffage est attribuée au vent qui refroidit les murs extérieurs (Peck *et al.*, 1999).

En été, l'évapotranspiration contribue à diminuer la température à la surface du bâtiment, ce qui réduit le réchauffement à l'intérieur et par le fait même, la consommation d'énergie nécessaire à la climatisation. Dans les gratte-ciel modernes ainsi que dans les nouvelles maisons parfaitement isolées, un échange d'air doit se faire entre l'air intérieur et l'air extérieur. En été, la température de cet air extérieur est souvent supérieure à celle de l'intérieur, demandant de l'énergie additionnelle pour la refroidir. La végétation à la surface du bâtiment diminuant la température près des prises d'air, elle diminue l'utilisation d'énergie pour le conditionnement de cet air (Bass et Baskaran, 2001). Il existe encore peu d'études concernant les murs végétaux. Pourtant, alors que les toits verts seraient plus

efficaces pour isoler des bâtiments d'un seul étage, les murs végétaux auraient un grand potentiel pour l'isolation des bâtiments à plusieurs étages (Bass et Baskaran, 2001).

L'isolation thermique hivernale est plus efficace lorsque la végétation est une étendue uniforme de plantes sempervirentes. Dans un mélange de plantes, le tapis de tiges et de feuilles mortes ne contient effectivement que peu de poches d'air. Le plus efficace, selon les études réalisées jusqu'à maintenant, serait le toit vert extensif planté de fines graminées, car il s'agit d'une couverture continue qui emprisonne bien les poches d'air (Dunnett et Kingsbury, 2008).

Le potentiel d'économie d'énergie grâce à la végétalisation du bâtiment dépend de plusieurs facteurs : la situation particulière du bâtiment, le climat, les matériaux et le design de la végétalisation, l'isolation autre que par végétalisation, l'épaisseur du substrat, les sources d'énergie utilisées pour le chauffage et la climatisation, les types de plantes utilisées, etc. (Peck *et al.*, 1999).

3.3 Eaux pluviales

3.3.1 Gestion des eaux pluviales

Les changements climatiques augmentent la fréquence des températures extrêmes et, dans certains cas, des fortes précipitations (Bass et Baskaran, 2001). L'eau qui tombe sur une surface plantée est absorbée par le sol et rejoint les nappes phréatiques ou encore elle est absorbée par les plantes et parfois restituée à l'atmosphère par évapotranspiration. Le milieu urbain a toutefois une forte proportion de surfaces imperméabilisées qui ne laissent pas pénétrer l'eau de pluie. Alors qu'on estime cette proportion à 10 % en milieu rural, elle atteint de 71 % à 95 % en zones commerciales et industrielles (Dunnett et Kingsbury, 2008). L'eau ruisselle donc sur les surfaces chargées de particules, pesticides, huiles, hydrocarbures, sel, métaux lourds et déchets, avant d'être recueillie par le système d'évacuation et de traitement, puis elle est rejetée dans les cours d'eau. Lors de fortes pluies, l'eau inonde les

égouts et le système d'évacuation des eaux usées, causant la surcharge de la station de traitement des eaux et du système de drainage. L'eau est alors rejetée directement dans les cours d'eau avoisinants, et ce, avant traitement. Les rivières s'en trouvent surchargées à leur tour et polluées par l'eau contaminée au cours du ruissellement sur les surfaces imperméables (Dunnett et Kingsbury, 2008).

L'objectif du système d'évacuation est d'enlever le maximum d'eau d'un endroit donné en un minimum de temps (Dunnett et Kingsbury, 2008). À l'opposé, les surfaces végétales peuvent diminuer la quantité d'eau de ruissellement en diminuant la proportion d'eau de pluie sur les surfaces imperméables, laissant ainsi le temps à l'eau d'être absorbée, avant qu'elle soit contaminée (Bass et Baskaran, 2001). Capter l'eau dans des bassins de rétention, l'utiliser à des fins domestiques ou d'irrigation, ou encore favoriser son infiltration dans le sol sont autant de façons de réduire le volume d'eau qui quitte un site donné. Les avantages de cette réduction sont nombreux :

- la pression sur le système de canalisations urbaines diminue;
- l'alimentation de la nappe phréatique est favorisée;
- des habitats et des aires récréatives humides peuvent être créés;
- les risques d'inondation diminuent;
- les coûts reliés au système de drainage sont réduits (Dunnett et Kingsbury, 2008).

Sur les toits verts, l'eau

- s'infiltré dans les interstices du substrat ou dans les particules mêmes qui le composent;
- est absorbée par les racines des plantes qui la stockent dans leurs tissus ou l'évacuent par évapotranspiration;
- demeure à la surface des végétaux et s'évapore d'elle-même;
- est retenue par le système de drainage avant d'être libérée progressivement (Dunnett et Kingsbury, 2008).

La capacité de rétention d'eau de pluie d'un toit vert varie selon les saisons; la profondeur, l'hygrométrie et les propriétés physiques du substrat; l'angle du toit; les types de plantes; l'intensité des précipitations et l'humidité préexistante (Dunnett et Kingsbury, 2008).

Les façades végétales peuvent aussi diminuer le ruissellement, mais elles ont un impact moins important que les toits verts quant à l'absorption de l'eau de pluie. Elles peuvent tout de même retarder le ruissellement et favoriser une lente infiltration dans le substrat. L'infiltration sera facilitée lors de forts vents fouettant la pluie vers le mur en question. L'efficacité des murs végétalisés dépend de leur design (grimpantes, système hydroponique ou présence de substrat) (Bass et Baskaran, 2001).

3.3.2 Qualité de l'eau

En plus de retarder et de diminuer le ruissellement, les surfaces végétalisées améliorent la qualité de l'eau de ruissellement qu'elles filtrent. L'eau, lorsqu'elle parvient au système de traitement, puis aux cours d'eau ou à la nappe phréatique, présente alors une meilleure qualité et diminue la contamination des eaux. Le cadmium, le cuivre et le plomb sont filtrés et retenus jusqu'à 95 % dans le substrat et le zinc jusqu'à 16 % (Bass et Baskaran, 2001). Le taux de nitrates dans l'eau est également inférieur lorsque l'eau a été filtrée par un substrat de croissance (Dunnett et Kingsbury, 2008). Les nitrates enrichissent les cours d'eau en éléments nutritifs et favorisent la colonisation par les algues, ce qui peut entraîner l'eutrophisation des lacs, dans les cas extrêmes. L'eau issue des toits et murs verts a également une température inférieure à celle qui s'écoule de toits et murs conventionnels, ce qui réduit les impacts environnementaux sur les cours d'eau (Bass et Baskaran, 2001). Enfin, l'eau, après son passage dans un toit végétal, a un pH plus basique, ce qui a pour effet de réduire l'effet des pluies acides (Dunnett et Kingsbury, 2008).

Aux États-Unis, plusieurs états et collectivités locales facturent les frais de raccordement des constructions au système de drainage des eaux pluviales et accordent des allègements fiscaux aux propriétaires qui réduisent le ruissellement (Dunnett et Kingsbury, 2008).

3.4 Isolation phonique

Le bruit constant de la ville est un facteur de stress psychologique. Alors que les surfaces dures réfléchissent le bruit plus qu'elles ne l'absorbent, le sol, les plantes et l'air contenu entre les plantes et la surface du bâtiment permettent une isolation sonore. Le bruit de la machinerie, du trafic et des avions peut alors être absorbé, réfléchi et dévié. Le substrat tend à bloquer les basses fréquences, tandis que les plantes bloquent les plus hautes fréquences. L'atténuation du bruit dépend donc de la profondeur du substrat (Peck *et al.*, 1999). Un toit vert dont le substrat a 12 cm d'épaisseur, peut réduire le son jusqu'à 40 décibels (Green Roofs for Healthy Cities, 2009). Le son du vent dans les feuilles et les branches contribuent par ailleurs à créer un sentiment de bien-être (Peck *et al.*, 1999).

3.5 Protection de l'enveloppe du bâtiment et ralentissement de la propagation du feu

La végétalisation protège l'enveloppe du bâtiment des rayons solaires ultra violets, des températures élevées et des fluctuations journalières de température. Ces facteurs de stress pour la membrane peuvent causer sa désagrégation, son délaminage, des fissures et même des ruptures (Dunnett et Kingsbury, 2008).

L'humidité contenue dans le substrat et dans les plantes ralentit la progression du feu de l'intérieur vers l'extérieur. C'est d'ailleurs la première raison ayant motivé l'installation de toits verts en Allemagne. Par contre, une sécheresse prolongée peut accroître les risques d'incendies (Trottier, 2008).

3.6 Biodiversité

«Aucune surface en ville n'a aussi peu de concurrence pour son usage que le toit d'un immeuble tout en étant en même temps si peu exploitée.» (Brenneisen, 2005) Les toits et façades ne sont pas des habitats naturels, mais ils peuvent servir de corridors écologiques qui contribuent à la dispersion des espèces animales et végétales entre les jardins, les parcs, les

friches, les boisés, etc. Les corridors écologiques aident à contrer la fragmentation des habitats due à l'urbanisation et à l'imperméabilisation des surfaces qui en découle (Earth Pledge, 2005). L'utilisation de plantes indigènes, fortement recommandée lorsque le milieu le permet, favorise la pérennité des espèces sélectionnées. Elles-mêmes servent d'habitat et de ressources pour la faune indigène (Trottier, 2008).

Le respect du lieu est le résultat d'interrelations complexes entre climat, biologie, géologie et topographie. Les bâtiments sont les plus importants artéfacts physiques de notre culture, ils devraient donc idéalement refléter l'unicité du lieu (McLennan, 2004). Le choix de végétaux indigènes pour la végétalisation prend alors doublement son sens : pour maximiser la survie et l'autonomie des végétaux, il est préférable de choisir des végétaux qui sont adaptés aux conditions locales. De plus, en choisissant des végétaux locaux, on honore et on donne de la visibilité à ces plantes qui caractérisent un milieu donné. Le choix de la végétation indigène est d'autant plus important en milieu urbain où le contexte a souvent fait disparaître la végétation indigène pour la remplacer par des espèces décoratives.

Lors de la conception de la Villa Olimpica à Barcelone, Olin et son équipe ont relevé un défi de design en aménageant un site urbain totalement artificiel pour faire en sorte qu'il rappelle le caractère indigène des paysages naturels de la Catalogne. Le but n'était pas de simuler un paysage naturel, que ce soit naturellement ou biologiquement, car cela aurait été impossible. Olin et son équipe ont donc considéré les bâtiments comme étant le site en soi. Les bâtiments dont il est question sont entre autres ceux de Franck O. Gehry et de Bruce Graham. À cause de la pollution industrielle très importante induite par la situation du site, les aménagements ont été conçus avec des plantes indigènes adaptées au climat local. Ce choix a contribué au succès d'implantation des plantes ainsi qu'à l'objectif de départ qui était de créer un décor rappelant celui du paysage naturel catalan (Olin, 1997).

Par contre, les espèces indigènes à la région ne sont pas nécessairement adaptées au microclimat des toits ou des murs. Ceux-ci sont souvent des biotopes au sol mince, présentant de fréquentes sécheresses. Ce sont par conséquent des habitats peu fertiles, mais une importante diversité d'espèces arrive à coloniser ce type de milieu. Les végétaux qui

dominent les espèces fragiles en milieu fertile n'ont pas le dessus sur les toits et les murs végétaux. Il s'agit donc d'un habitat favorable à ces plantes fragiles, à condition qu'elles soient adaptées au milieu concerné. Plus la diversité de plantes est importante, plus la faune qui s'y établira sera variée. Les murs et les toits verts extensifs non accessibles sont un excellent habitat pour la microfaune et les oiseaux qui y sont protégés (Dunnett et Kingsbury, 2008).

Il faut toutefois mentionner que l'utilisation exclusive de végétaux indigènes est aujourd'hui utopique. Les échanges de végétaux d'un continent à l'autre sont monnaie courante, encore plus aujourd'hui que dans le passé. Des espèces non indigènes sont maintenant naturalisées dans des climats dont elles ne sont pas originaires et les écosystèmes dont elles font partie se sont adaptés en conséquence par coévolution.

Une autre façon de favoriser la diversité de la faune est de varier les profondeurs de substrat de croissance. On peut aussi utiliser des substrats et des sols locaux, des débris de matériaux en provenance de friches industrielles. Les semences de plantes indigènes contenues dans les sols locaux peuvent alors coloniser naturellement les différentes épaisseurs de substrats. La présence de bois mort sec attire également des invertébrés qui y trouvent leur habitat et des oiseaux qui s'en servent comme source de nourriture et comme perchoir. Plus le substrat est profond, plus la diversité d'insectes y sera grande (Peck *et al.*, 1999). Les insectes ne survivent toutefois pas au gel du sol en hiver et à son dessèchement total en été (Dunnett et Kingsbury, 2008).

Sur certaines surfaces (murs ou toits verts accessibles), l'aspect esthétique est important, l'utilisation de plantes qui ne sont pas indigènes est alors tout à fait compréhensible. La diversité faunique ne dépend d'ailleurs pas de l'origine locale ou étrangère de la flore, mais bien de la diversité des structures végétales (Dunnett et Kingsbury, 2008).

3.7 Biophilie

Selon Frederick Law Olmsted, reconnu comme le fondateur de l'architecture du paysage : « *Humans have physiological reactions to natural beauty and diversity, to the shapes and colors of nature, especially to green, and to the motions and sounds of other animals.* » (Dramstad *et al.*, 1996, p. n/d).

Les humains sont plus sains lorsqu'ils peuvent voir et interagir avec la nature, même si c'est en petites parcelles ou à courte distance (Schauman, 1997). Est-ce que la végétalisation du bâtiment peut être considérée comme quelque chose de « naturel » en ville? Est-ce qu'on peut considérer que l'on peut interagir avec la végétation lorsqu'elle est à même le bâtiment?

Quel est ce désir de nature, apparu avec une force nouvelle dans notre société? Qui sont ces gens, qui nous ressemblent, épris de terre, d'arbres et de fleurs, épris du désir de renouer ce fil coupé avec l'univers?

Ce sont des hommes, des femmes noyés dans leur rythme quotidien, enfermés dans leur cadre de vie, éloignés des saisons, protégés du chaud, protégés du froid. Ils espèrent aux heures arrachées au travail trouver, chez eux, une vraie nature, celle de la pluie et du vent, celle de l'oiseau et de l'insecte. Dans une demeure si petite soit-elle, ils veulent, proches de leur lit, proches de leur douche, dans le salon, face à la table, un arbre, des fleurs, de vrais buissons qui poussent et meurent. Une nature captée, vive, par une maison qui l'embrasse. (Sauzet, 1996, p. 59)

Le désir de vivre proche des manifestations de la nature est une volonté fréquemment exprimée. La ville augmente ce besoin (Sauzet, 1996).

Le désir de nature qui hante les urbains est bien autre chose qu'une nostalgie de la vie villageoise ou un refus de la ville. Il se développe en même temps que se généralise le monde urbain comme si les forces de la culture se devaient de se connecter à celles de la nature pour que le monde reste habitable. (Sauzet et Younès, 2003, p. 125)

L'environnement bâti est une séparation entre l'intérieur et la lumière du jour de l'extérieur. Avec cette séparation, la connexion avec la nature diminue. La biophilie (*biophilia*), terme proposé par le biologiste Edward O. Wilson, est l'affinité innée des êtres humains pour le vivant et les systèmes naturels (Demers et Potvin, 2008). « Designer avec biophilie » signifie faire preuve d'équilibre : quand la nature est oppressante et aride, comme dans le désert, les

gens ont besoin d'un refuge plus clinique, frais et austère. Dans un milieu urbain dense, où les humains sont entourés de béton, de briques et d'asphalte, les gens ont besoin de vie, de nature dans le design (McLennan, 2004). Ce besoin est-il rempli par les bâtiments végétalisés?

Comme les végétaux changent au cours des saisons, ils deviennent des témoins du cycle saisonnier et des changements de rythmes dans la scène urbaine dont les matériaux traditionnels ne reflètent pas la réalité (Lambertini *et al.*, 2007; Michigan, 2009). Il s'agit cependant d'une nature artificielle. Dans une grande ville, un arbre existe parce que l'homme l'y a planté ou qu'il a décidé de le laisser là où il se trouve (Lambertini *et al.*, 2007). Le contrôle exercé par l'humain est omniprésent en milieu urbain, mais le besoin de briser le cadre rigide de l'environnement construit est une autre façon d'interpréter le besoin de nature en ville. Selon Gilles Clément, le jardin en mouvement du Parc André-Citroën, à Paris, est d'ailleurs « la réponse implicite d'un monde en quête de retrouver dans la nature une part importante de son existence » (Clément, 2001, p. 161).

3.8 Esthétique

«Art is indispensable for society and culture.» (McHarg, 1997, p. 322)

La subjectivité, l'art et la poésie sont des outils puissants pour rendre la végétalisation du bâtiment plus sensible, afin qu'elle soit plus facilement acceptée par les occupants. En effet, pourquoi ces instruments sont-ils acceptés dans les domaines privés des galeries d'art, des bibliothèques, mais qu'on les exclut pour la résolution de problèmes rationnels concrets (Corner, 1997)? On connaît les impacts positifs de la végétalisation sur l'écosystème naturel, mais il faut maintenant vérifier qu'il s'agit d'un choix qui améliore la qualité de vie des humains et du sentiment de bien-être ressenti. D'où l'importance de considérer autant les aspects socioécologiques que les aspects écologiques des phénomènes urbains.

L'adaptation culturelle est sans contredit la stratégie d'adaptation la plus efficace pour l'humain. Ses instruments sont la science et la technologie, mais aussi le langage, la philosophie et l'art (McHarg, 1997). Dans l'environnement naturel, le besoin d'esthétique est un besoin de conservation. Par contre, dans la ville, l'esthétique est une force active qui donne forme à la fois à une fonction et à un sens dans la forme bâtie (Johnson, 1997). La beauté de l'architecture est importante, bien que difficile à définir. Pour qu'un bâtiment soit durable, il faut souhaiter qu'il dure, il faut vouloir le préserver, il faut qu'il traverse le temps. Même si la fonction première d'un bâtiment devient désuète, s'il est bien conçu et bien construit, il pourra être converti, au lieu d'être démoli avant de reconstruire au même endroit. « *As the utility and family significance fades, it is often only the beauty of the object that keeps it cherished and passed on.* » (McLennan, 2004, p. 236) La végétalisation peut à cet égard améliorer un beau design ou en camoufler un mauvais (Johnston et Newton, 1996).

Il existe un besoin biologique de beauté. Les neurosciences montrent le rôle de la beauté dans la stimulation du cerveau : des proportions, textures et formes agréables à la vue améliorent la santé mentale (McLennan, 2004). « Un beau bâtiment a trois caractères : il est commode, il est solide, il plaît. » (Wotton, 1624, p. n/d, en paraphrasant Vitruve). La valeur ornementale de l'enveloppe végétale est donc incontournable. Un avantage des murs végétalisés sur les toits verts réside d'ailleurs dans leur visibilité à partir du sol.

L'attrait pour un bâtiment favorise aussi sa fonction pédagogique. « Le mot « édifice » renvoie, [...] directement au verbe *édifier*, qui ne signifie pas seulement *bâtir*, mais aussi *éduquer, établir, fortifier, instruire*. » (Frampton, 1972, p. 137). Autant le côté technologique de la durabilité est important, autant un autre aspect de la durabilité doit être assuré par les designers, et non les techniciens : une esthétique qui communique la valeur des processus écologiques qu'ils essaient de restaurer. Avant que le public n'incorpore l'écologie dans son esthétique urbaine, les gens doivent donner de la valeur à la présence de processus naturels dans la ville (Johnson, 1997). La vocation éducative d'un aménagement végétalisé du bâtiment est non négligeable. Plusieurs aspects peuvent être transmis par la végétation sur les bâtiments : en plus d'illustrer les interactions naturelles et les cycles écologiques, elle peut exacerber la fascination par les plantes et sensibiliser à l'importance des espaces verts en

milieu urbain (Landreville, 2005). « *An aesthetic that includes cultural disorder and the “accidents” of nature can inform the public of the substance of the human condition and the significance of natural processes that modernism excluded.* » (Johnson, 1997, p. 184)

3.9 Qualité de l'espace

Comme une vue sur un paysage naturel, la vue sur un mur vivant ou sur un toit vert améliore la qualité visuelle de l'espace aménagé en milieu urbain. La qualité plastique d'un aménagement de végétalisation ne réside évidemment pas uniquement dans la matière, mais dans la façon dont elle est présentée. L'objectif de designer et construire des bâtiments est de créer un habitat pour les humains. Un des principes du design durable est d'honorer la vitalité humaine à travers la diversité des individus et de redonner aux humains le contrôle de leur confort personnel et de leurs environnements. Le souci du bien-être psychologique et spirituel passe par une architecture humaine à l'échelle appropriée (McLennan, 2004).

Les espaces verts ont généralement moins de valeur que les espaces construits qui génèrent des échanges économiques. On a donc tendance à les négliger croyant qu'ils ne peuvent pas avoir d'impact économique positif. Pourtant, la végétalisation augmente la valeur des propriétés résidentielles et les hôtels louent plus cher une chambre avec une vue sur des aménagements de toits verts, c'est donc qu'elle représente une valeur ajoutée (Bass et Baskaran, 2001; Getter et Rowe, 2006; Osmundson, 1999).

Un toit vert donne des points dans les programmes d'évaluation en matière de performance environnementale. Par exemple, dans le programme LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), un toit végétalisé permet de cumuler jusqu'à 15 points dans les catégories suivantes :

- 1) moindre détérioration du site, protection ou restauration des espaces ouverts;
- 2) gestion des ressources hydriques;
- 3) incidence sur les énergies et le climat;
- 4) matériaux et ressources;

5) environnement intérieur;

6) innovation dans le design (Dunnett et Kingsbury, 2008).

Un nombre élevé de points donne une image respectueuse de l'environnement, aujourd'hui source de publicité, ce qui peut faciliter la rentabilité des investissements (Dunnett et Kingsbury, 2008).

3.10 Potentiel curatif

Le contact avec un paysage à caractère naturel, comme la vue de plantes, a des effets bénéfiques sur la santé humaine. Parmi ceux-ci, on retrouve la réduction du stress et de l'agressivité, la baisse de la pression sanguine, le relâchement des tensions musculaires, l'augmentation de sentiments positifs comme le calme (Ulrich et Simons, 1986; Velazquez, 2005). La vue d'une scène naturelle retient l'attention, la déplace des pensées centrées sur soi-même et peut même entraîner un état proche de la méditation (Ulrich et Parsons, 1992). La productivité des employés augmente et l'absentéisme diminue lorsque ces derniers ont une vue sur des plantes ou des arbres (Velazquez, 2005). Les employés ayant « une vue » sont moins stressés, ressentent une plus grande satisfaction quant à leur situation professionnelle et rapportent avoir moins de maux de tête que les employés n'ayant pas accès à une vue sur des éléments naturels (Kaplan *et al.*, 1988). Les patients ayant une vue sur des éléments naturels se remettent plus rapidement d'une chirurgie que ceux qui n'ont pas cette vue (Ulrich, 1984).

Les études sur des étudiants stressés à cause d'un examen, sur des patients ayant peur du dentiste et sur des prisonniers arrivent toutes aux mêmes conclusions : la simple vue d'images (photographies, images projetées, vues à travers des fenêtres) comportant une dominante de végétation, même en milieu urbain, diminue les symptômes de stress, de peur et d'anxiété par rapport à la vue d'images de paysage urbain sans végétation (Ulrich *et al.*, 1991).

Il existe plusieurs théories explicatives de ce phénomène. Les perspectives culturelles et basées sur l'apprentissage suggèrent que les cultures occidentales contemporaines conditionnent les habitants à vénérer la nature et à rejeter les villes (Tuan, 1974). Les théories basées sur la fonction d'alerte ou d'éveil expliquent plutôt le phénomène par le fait que l'humain se remet plus facilement d'une situation de stress lorsque les propriétés favorisant la fonction d'alerte sont faibles. Ces propriétés sont décrites comme étant entre autres la complexité, l'intensité et le mouvement (Ulrich *et al.*, 1991). Les paysages dits naturels (dont le contenu est à dominance de végétaux ou d'eau et où les éléments anthropiques ne sont peu ou pas perceptibles (Ulrich, 1983)) auraient, selon cette théorie, une complexité, une intensité et un mouvement perçus comme faibles par l'humain comparés aux paysages urbains.

Les perspectives évolutionnistes attribuent quant à elles cette réaction de détente au fait que les humains ont évolué longtemps dans un environnement «naturel». Ils seraient donc physiologiquement et psychologiquement mieux adaptés aux contextes naturels qu'aux contextes urbains. Les explications varient :

- 1) Les humains ont une prédisposition innée à donner de l'attention et à répondre positivement au naturel et à une configuration qui était favorable à la survie et au bien-être durant leur évolution.
- 2) Un paysage contenant des éléments naturels est plus facilement et plus efficacement décodé parce que le cerveau et le système sensitif ont évolué dans des environnements «naturels».
- 3) Les contextes naturels attirent facilement l'attention sans effort mental, une forme d'attention appelée la fascination. Cette attention involontaire serait un mécanisme clé pour le repos suite à une fatigue mentale (Ulrich *et al.*, 1991).

L'entretien des murs ou toits végétalisés, lorsque nécessaire, peut en soi devenir une activité thérapeutique comme l'est le jardinage, reconnu pour ses vertus sur la santé (Peck *et al.*, 1999).

3.11 Sens de la communauté

Les toits verts accessibles (intensifs) peuvent devenir des lieux de rencontre et des zones récréatives qui augmentent l'interaction et la cohésion sociale (Green Roofs and Healthy Cities, 2009).

Le propriétaire d'un bâtiment possédant une enveloppe végétale envoie un message de responsabilité envers l'environnement et la société (Trottier, 2008). L'aspect identitaire se manifeste à travers les valeurs écologiques représentées dans l'architecture. Un sentiment de fierté et un lien entre les citoyens peuvent se développer dans une ville qui affiche ses préoccupations environnementales par des mesures incitatives à la végétalisation des constructions. De telles mesures, si elles sont fonctionnelles, peuvent même favoriser le tourisme (Landreville, 2005).

3.12 Requalification du lieu

La végétalisation est un outil de conversion et de requalification des lieux. Par exemple, à Paris, le site de l'ancienne usine Citroën, d'abord spécialisée dans la fabrication de munitions, puis dans la construction automobile, est maintenant devenu le parc André-Citroën. Un parc d'une superficie de 14 hectares, ouvert directement sur la Seine, réalisé par les paysagistes et les architectes Alain Provost, Gilles Clément, Patrick Berger, Jean-Paul Viguier et François Jodry (Mairie de Paris, 2009b). Cet exemple ne concerne pas directement la végétalisation d'une construction, mais démontre le potentiel de l'aménagement paysager dans la requalification d'un site.

Toujours à Paris, la Promenade plantée est un ancien chemin de fer qui reliait Bastille à Saint-Maur jusqu'en 1969. Aujourd'hui, la Coulée verte traverse le 12^e arrondissement sur 4,5 km (Mairie de Paris, 2009c). Des jardins sont aménagés sur les viaducs et dans les tunnels ayant été construits pour le chemin de fer. Au lieu de détruire la structure bâtie tombée en désuétude, les architectes Philippe Mathieux et Jacques Vergely ont préféré valoriser la

construction qui fait maintenant partie du paysage du 12^e arrondissement et l'aménager en promenade piétonne. La construction ayant été conçue à l'origine pour soutenir un chemin de fer, il n'y avait aucun besoin de renforcer la structure pour lui permettre de supporter des jardins. La partie aérienne située sur le Viaduc des Arts est un espace jardin récupéré en hauteur, qui n'empêche pas les activités commerciales et la circulation automobile au sol. Il s'agit d'une forme de végétalisation que l'on appelle « jardin sur dalle ». Un jardin sur dalle se rapproche d'un toit vert intensif, mais la construction végétalisée n'est pas un bâtiment habité, on ne peut donc pas parler de « toit vert ».

3.13 Remplacement de la surface naturelle supprimée au sol

Tout ce qui est horizontal en plein air appartient à la nature... L'homme est l'hôte de la nature et doit se comporter en conséquence... Sur les toits, l'homme doit rendre à la nature ce qu'il lui a pris en bas illicitement en construisant la maison.

Hundertwasser, 1987 (Houdart et Houdart, 2004, p. 47)

Le souci de redonner à la nature ce qui appartient à la nature peut émaner d'une philosophie écologiste radicale dans laquelle tous les êtres vivants sont égaux et possèdent autant de droits que l'humain. Le fait de remplacer la surface utilisée par la construction d'un bâtiment peut aussi venir de la préoccupation de minimiser l'impact de la construction sur l'environnement. En Allemagne, la réglementation demande de compenser les dommages inévitables causés par la construction par des mesures concrètes, dans un laps de temps déterminé (Dunnett et Kingsbury, 2008). Le fait de supprimer une surface verte est alors considérée comme un dommage inutile. On tente simplement de rétablir positivement le ratio organique/inorganique en milieu urbain (Lambertini *et al.*, 2007). Le remplacement de la surface végétale absorbante supprimée au sol par une nouvelle surface végétale sur le bâtiment vise donc à améliorer le sort de l'humain.

3.14 Conclusion

Les bénéfices de la végétalisation ont été abordés ici de manière exploratoire et qualitative. Une des barrières à l'adoption systématique de toits verts et de façades végétalisées est l'absence de documentation sur la performance des installations dans le climat québécois. Pour arriver à des résultats quantitatifs probants pour le climat montréalais, des expérimentations locales devront être menées. La mise en place d'un site d'étude qui consiste en un toit que l'on peut reconfigurer facilement, dont la moitié est végétalisée et l'autre construite selon les standards actuels, est envisageable. La même chose serait nécessaire pour mesurer les bénéfices des façades végétalisées. Il serait toutefois crucial de tenir compte des différentes orientations possibles de ces façades. Les deux moitiés des surfaces expérimentales (standard et végétalisée) devront être équipées d'instruments identiques mesurant la température de surface, la radiation de surface, les profils verticaux de température et le flux de chaleur à travers le toit, la quantité d'eau de ruissellement qui s'écoule des deux moitiés, etc. (Bass et Baskaran, 2001).

Les avantages de la végétalisation du bâtiment sont diversifiés et liés les uns aux autres, c'est pourquoi il est difficile de les présenter de manière synthétique. C'est par ailleurs la même caractéristique qui fait de cette pratique une solution clé pour l'amélioration de la qualité de vie en ville.

La question à se poser est « Qu'est-ce qu'on mettrait sur le mur ou le toit, à la place de la végétation? » (Michigan, 2009). Quel matériau possède à la fois toutes ces qualités : isole de la chaleur et du froid par l'extérieur, rafraîchit en été (par évapotranspiration et par ombrage), isole des bruits extérieurs, retient et ralentit l'eau de ruissellement, capte le dioxyde de carbone et produit de l'oxygène, fixe les poussières, filtre les substances polluantes, favorise la biodiversité, est agréable à l'œil et peut sentir bon en plus d'être apaisant?

Les seuls espaces libres sont les cimetières dont la superficie dépasse presque, dans Paris même, la superficie des jardins. Honneur à la ville qui prévoit plus d'oxygène pour ses morts que pour ses vivants.

Jean Giraudoux, référence non disponible.

CHAPITRE IV

VÉGÉTALISATION DU BÂTIMENT EN MILIEU URBAIN : PARIS, VILLE TÉMOIN

Dans ce chapitre, certains aspects caractéristiques des villes, et de Paris en particulier, seront exposés afin de mieux cerner le contexte urbain dans lequel les exemples de végétalisation ont été considérés. Suivront une présentation des observations générales recueillies sur le terrain et la description de brèves études de cas exemplaires de végétalisation à Paris.

4.1 Urbanisation et végétalisation

La vie urbaine concerne de plus en plus d'habitants. En 1950, 30 % de la population était urbaine (Jacobs, 2007). Depuis 2008, pour la première fois de l'histoire de l'humanité, plus de la moitié de la population mondiale vit en milieu urbain, ce qui représente 3,3 milliards d'habitants. L'ONU (2007) estime qu'en 2030, la population urbaine atteindra les 5 milliards d'habitants, soit plus de 60 % de la population mondiale. Les villes des pays dits aujourd'hui en développement pourraient, en 2030, accueillir 81 % de l'humanité urbaine. Toujours selon l'ONU (2007), le niveau d'urbanisation en Europe pourrait passer de 75 % en 2000 à 80 % en 2015. La superficie occupée par les zones urbaines est seulement de 1 % à 6 % de la surface de la Terre, mais représente une importante partie de la demande en ressources et de la production de déchets, donc, de l'empreinte écologique⁵ de la population terrestre (Alberti *et*

⁵ L'empreinte écologique est la superficie de terrain nécessaire, pour une population donnée, pour subvenir à ses besoins et poursuivre ses activités actuelles. L'analyse de la consommation des biens et services est convertie en hectares de terre (Jacobs, 2007).

al., 2003 ; Alberti et Marzluff, 2004). Les problématiques urbaines sont donc à l'ordre du jour si l'on souhaite améliorer les conditions de vie du plus grand nombre.

L'urbanisation a changé le paysage et les processus écologiques sur une courte période de temps, mais sur une grande échelle spatiale. Ses conséquences ne se limitent pas aux frontières de la ville. Les activités humaines qui modifient l'environnement naturel sont des réponses aux mêmes besoins humains dans toutes les villes : le besoin d'un abri, de sécurité, de nourriture et d'eau; les besoins énergétiques pour les entreprises humaines; la gestion des matières résiduelles et la demande constante pour plus d'espace occupé (Whiston Spirn, 1984). C'est ce qui explique que les grandes villes des climats tempérés ont plus en commun entre elles qu'avec leur campagne environnante. Le développement urbain fragmente, isole et dégrade les habitats naturels, ce qui a pour conséquence de simplifier et d'homogénéiser la composition en espèces, de discontinuer le système hydrologique et de modifier les flux d'énergie et le cycle de nutriments (Alberti et Marzluff, 2004).

L'étalement urbain est un phénomène qui fonctionne selon une boucle de rétroaction positive : l'augmentation des infrastructures qui créent de la congestion, comme les routes, stimule la demande d'infrastructures urbaines au-delà de la zone congestionnée et entraîne ainsi l'étalement de la zone congestionnée (Murphy et Martin, 2001). Le milieu urbain exacerbe également les problèmes liés aux changements climatiques à cause de la densité de la population et de l'importance des surfaces dures, imperméabilisées et réfléchissantes. L'importation d'énergie et de ressources de l'extérieur de la ville ainsi que la création de déchets qui ne sont pas réintégrés au cycle de l'écosystème, génèrent la pollution de l'eau, du sol et de l'air (Peck *et al.*, 1999).

Les problématiques urbaines sont connues. Les villes ne sont cependant pas seulement la source du problème, elles peuvent certainement être à l'origine de la solution. Le pouvoir économique des urbains et leur force culturelle sont de plus en plus importants (Jacobs, 2007), en plus d'être des berceaux de créativité (Manzini, 2007). Le chapitre précédent a expliqué les façons dont la végétalisation du bâti peut contribuer à améliorer la qualité de vie

en milieu urbain. Voyons maintenant comment se manifeste le phénomène sur le terrain, dans son contexte, ici la ville de Paris.

4.2 Pourquoi Paris?

Différentes raisons ont motivé le choix de la ville de Paris comme lieu de collecte de données. Paris est une grande ville européenne d'une densité importante, évidemment confrontée aux problématiques urbaines. C'est la raison pour laquelle l'intérêt pour la végétalisation sur des toits et façades y est de plus en plus marqué, quoique récent. En Allemagne, en 2002, un toit plat sur 10 était végétalisé pour un sur 150 en France (Dunnett et Kingsbury, 2008). Paris est toutefois en pleine explosion quant aux efforts de végétalisation : on assiste aujourd'hui à une accélération du développement des manifestations. Dans le cadre d'un travail de recherche, il semblait pertinent d'assister au processus de création et à la réalisation des mesures de végétalisation au présent, plutôt que de se contenter de constater les résultats provenant des efforts passés. La présence d'exemples de végétalisation d'avant-garde tout à fait spectaculaires, notamment les réalisations de Patrick Blanc et d'Édouard François, sont un autre signe de la vitalité du mouvement de végétalisation du bâti à Paris.

La population de Paris intramuros est estimée à 2 203 817 habitants au 1^{er} janvier 2009, selon l'Institut national de la statistique et des études économiques. Le maximum de la population parisienne a été atteint après la Première Guerre mondiale avec 2,9 millions d'habitants. Elle s'est maintenue jusqu'au lendemain de la Seconde Guerre Mondiale, puis s'est mise à décroître rapidement durant les années 1950, 1960 et 1970. La décroissance s'est par la suite ralentie pour se stabiliser à 1 125 246 habitants en 1999. Depuis lors, la population de Paris est en constante croissance. La ville de Paris a la densité de population la plus forte en France, mais elle varie beaucoup selon les arrondissements : de moins de 10 000 hab./km² dans le 1^{er} arrondissement à plus de 40 000 hab./km² dans le 11^e arrondissement (Mairie de Paris, 2009a).

La lenteur du développement de la végétalisation du bâtiment en France peut s'expliquer par la tradition des jardins à la française, très contrôlés, taillés, géométrisés, tout à fait opposés aux toitures végétalisées extensives (les plus facilement réalisables) où l'on doit accepter de laisser la nature suivre son cours et limiter l'entretien au minimum (Dunnett et Kingsbury, 2008). Les façades végétales, phénomène moins exploré jusqu'à maintenant, sont toutefois de plus en plus visibles à Paris.

La Ville de Paris octroie une aide technique et financière pour la végétalisation de toitures. Environ 50 % du coût est assumé par la ville dans le cas d'un toit vert extensif. Les taxes sont réduites sur le coût des matériaux et de la main-d'œuvre lors de l'installation, et des crédits d'impôt sont accordés selon l'âge du bâtiment et d'autres critères. « Comme tout ce qui a trait à l'aspect extérieur des constructions, la végétalisation d'une toiture doit faire l'objet d'une déclaration préalable et respecter les règles d'urbanisme en vigueur. » (Mairie de Paris, 2009d) Le Plan climat et des réformes du Plan local d'urbanisme tentent de valoriser les 314 hectares de toitures végétalisables et de favoriser la réalisation de nombreux murs végétalisés dans la ville de Paris (CAUE, Paris, 2009). Paris offre aussi un programme de végétalisation verticale. La démarche à suivre consiste à faire une demande à la ville en spécifiant l'adresse du mur à végétaliser. Si l'étude du projet confirme la possibilité et l'intérêt d'une végétalisation et que toutes les conditions sont respectées, la ville prend en charge la végétalisation sous forme de plantes mises en terre au sol (Mairie de Paris, 2009d).

4.3 Observations sur le terrain

Bien que l'échantillonnage d'entretiens et de témoignages recueillis lors d'observation non participante soit très limité, il semblerait que les avantages évoqués lorsqu'il s'agit de promouvoir la végétalisation de bâtiments concordent avec ceux répertoriés dans la littérature. La question du climat et de l'effet d'îlot de chaleur urbain ainsi que celle de la rétention des eaux pluviales viennent au premier rang. Les considérations quant à la qualité de l'espace et à l'esthétique sont également mises de l'avant. Comme la démarche sur le terrain n'a pas été effectuée dans le but d'ordonner les avantages selon leur priorité chez les

acteurs du milieu, mais bien de documenter ces derniers, la méthodologie n'a pas été prévue à cette fin et le fait de tenter de le faire *a posteriori* ne serait pas valable. Les informations recueillies ont été ajoutées au chapitre sur les bénéfices de la végétalisation en milieu urbain.

Les sujets de futures études à mener se sont aussi révélés au cours des échanges : la qualité du substrat de croissance, les plantes à utiliser pour favoriser un aspect plus esthétique, les effets quantitatifs de la végétalisation sur l'effet d'îlot de chaleur urbain, la conception de modèles acoustiques et thermiques qui décrivent l'impact des toitures et façades végétalisées, etc.

Les toitures-terrasses plantées intensives sont relativement nombreuses à Paris. On peut même les percevoir à partir du niveau de la rue. Elles semblent devenir une pratique assez démocratisée, car on peut les observer autant sur de grands bâtiments commerciaux ou administratifs que sur de plus modestes constructions résidentielles privées. La Promenade plantée, dont il a été question préalablement, est un exemple éloquent de végétalisation intensive de structure construite appelé «jardin sur dalle» (figure 4.1). Les toitures végétalisées extensives semblent gagner en importance, quoiqu'elles soient loin d'occuper tous les toits végétalisables. L'architecture haussmannienne explique peut-être en partie la faible proportion des toitures aptes à la végétalisation. L'esthétique caractéristique des immeubles haussmanniens impose en effet d'importantes mansardes à deux pentes qui présentent des angles trop importants pour maintenir en place une végétation, même légère. Plusieurs réservoirs d'eau sont cependant recouverts d'une végétation extensive, comme les réservoirs de Charonne (20^e arrondissement) (figure 2.1) et ceux de Montsouris (14^e arrondissement).

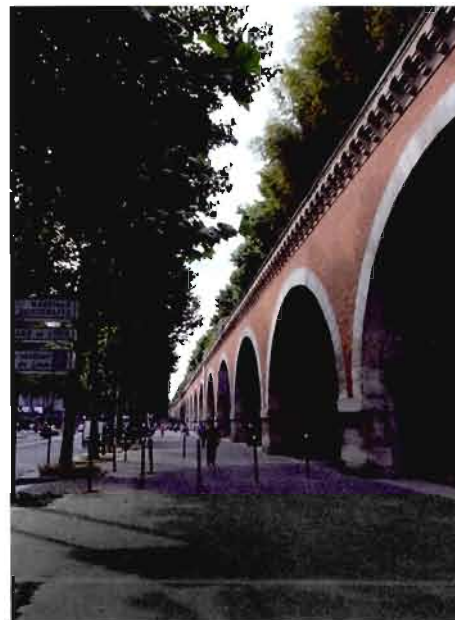


Figure 4.1 : Promenade plantée (12^e arrondissement). Paris, 2009.
Photos : Anne-Marie Bernier

Les façades végétalisées prennent plusieurs formes différentes. Les vignes et les lierres, très présents en Europe depuis longtemps, le sont aussi en Amérique depuis plusieurs années (figure 2.3). La Ville de Paris installe aujourd'hui des treillis standardisés visant à faciliter l'implantation des plantes volubiles (voir le chapitre sur la description du phénomène, figure 2.4). Les murs végétaux de Patrick Blanc sont spectaculaires, mais loin d'être accessibles à tous. Ils sont de grande envergure et installés sur des bâtiments commerciaux ou publics comme le Musée du quai Branly (figure 2.6). Édouard François a lui aussi réalisé des prouesses en ce qui concerne la végétalisation du médium construit. L'Éden Bio (20^e arrondissement) est un complexe de logements sociaux conçu par Édouard François. Des façades y sont végétalisées avec de la glycine plantée au sol.

Édouard François et Patrick Blanc se sont également associés pour la conception de la cheminée EPAD de La Défense (figure 4.3). Il s'agit d'une cheminée de ventilation plantée d'ipomées. La capacité des plantes de filtrer les particules et de capter les polluants est exploitée et exposée au grand jour dans ce concept insolite.



Figure 4.2 : Wild Tower, Cheminée EPAD par Édouard François et Patrick Blanc. La Défense, Paris.

Photo tirée du site <http://www.edouardfrancois.com/projects.php>

Certains autres murs végétalisés sont plutôt à caractère expérimental (figure 2.5). Ils sont de moindre surface et moins spectaculaires que les murs de Patrick Blanc, mais l'avenir des façades végétalisées accessibles réside certainement dans la créativité et le design à moindre coût de leurs concepteurs anonymes.

4.4 Études de cas

Trois brèves études de cas exemplaires seront maintenant présentées. Les trois se retrouvent à Paris et concernent la végétalisation de façades, (les exemples de toits verts sont en effet mieux documentés et plus fréquents dans une ville comme Montréal). Les exemples proposés ne sont pas des études de cas exhaustives, mais bien de brèves présentations des multiples formes que peut adopter la végétalisation du bâtiment en milieu urbain. Leur intérêt réside pour chacune dans un aspect distinct du projet. Les exemples sélectionnés ont été documentés à l'aide de données issues de la littérature et de correspondances avec les acteurs concernés ou les concepteurs. Des visites sur le terrain ont permis d'apprécier le caractère visuel et de récolter des images qui servent à illustrer les descriptions dans le présent document.

4.4.1 Façade du *BHV Homme*

La façade du *BHV Homme* donne sur la rue de la Verrerie en plein cœur du Marais (4^e arrondissement) (figure 4.3). Elle a été conçue par l'architecte Franck Michigan en collaboration avec Patrick Blanc. Le projet permet de camoufler une structure existante en béton préfabriqué, de présenter une façade spectaculaire à la mesure de l'image commerciale désirée, de permettre un traitement en épaisseur et en volumes dans une rue étroite. Le secteur du Marais étant sauvegardé, il est compliqué d'obtenir les permis pour innover sur la structure. S'il avait été question d'un élément construit, il aurait fallu soumettre pour autorisation des échantillons de couleur précis, des prototypes conformes aux gammes de couleurs et de formes contraignantes. Le débat a été contourné par la nature artistique et végétale de la façade. Celle-ci suscite unanimement l'enthousiasme des passants, des habitants du quartier, des élus de l'arrondissement et des architectes des Bâtiments de France. Pour Franck Michigan, cela prouve « que le bénéfice culturel est probant » (Michigan, 2009). Le choix de la façade n'est pas sans rappeler la saisonnalité commune des collections de mode et des plantes. L'architecte a donc spécifié à Patrick Blanc que la façade devait être particulièrement changeante d'une saison à l'autre. Les bénéfices écologiques de la façade n'ont jamais été vérifiés scientifiquement, mais « 150 m² de surface [plantée avec] 171 espèces végétales, ce ne peut qu'être bénéfique » (Michigan, 2009).



Figure 4.3 : Façade végétale du *BHV Homme* conçue par Franck Michigan et Patrick Blanc. Rue de la Verrerie, Marais (4^e arrondissement), Paris, 2009.
Photos : Anne-Marie Bernier

Le caractère esthétique et artistique de la façade est certainement le point fort de la réalisation. La requalification du bâtiment et l'amélioration de la qualité de l'espace sont également des objectifs remplis par la végétalisation de la façade du BHV. L'importante diversité de plantes (dont un *Buddleia*, aussi appelé arbre à papillons) intégrées au design du mur végétal joue certainement un rôle dans la présence d'espèces variées d'insectes.

4.4.2 *Tower Flower*

La *Tower Flower* d'Édouard François est l'un des immeubles de la zone d'aménagement concerté (ZAC) d'Asnières (17^e arrondissement), dessinée par Christian de Portzamparc (figure 4.4). Il s'agit d'un immeuble de 10 étages et 30 logements, planifié dans la continuité du parc qu'il surplombe. Le projet a été conçu à la suite de l'observation du besoin de nature en ville que les Parisiens comblent habituellement en ornant de pots presque tous les balcons. Il en résulte un bâtiment présentant des balcons filants, bordés de gros pots plantés de

bambous qui servent de garde-corps. Les bambous servent de filtre visuel à la ville alors que le bruissement des tiges et des feuilles sert de filtre auditif au bourdonnement urbain. Les plantes sont arrosées collectivement et automatiquement avec, en partie, de l'eau de pluie recueillie sur les terrasses et par la suite enrichie d'engrais (François, 2009).

La teinte blanc-gris du bâtiment a été obtenue sans colorant ni peinture, grâce aux deux types de béton qui le composent. Couplée à la présence de végétation, la couleur pâle augmente l'albédo, ce qui permet de diminuer le réchauffement des surfaces, donc l'effet d'îlot de chaleur urbain. Le confort et tous les avantages de la végétalisation offerts aux occupants des logements sociaux contribuent à démocratiser la pratique.



Figure 4.4 : Tower Flower par Édouard François. ZAC d'Asnières (17^e arrondissement). Paris, 2009.

Photos tirées du site <http://www.edouardfrancois.com/projects.php>

4.4.3 Jardin vertical de la rue Henri-Noguères

La rue Henri Noguères est située dans la ZAC du bassin de la Villette (19^e arrondissement). La Société d'économie mixte de la Ville de Paris (SEMAVIP) finance la réalisation et l'entretien de ce mur végétalisé (figure 4.5). Il s'agit d'un projet du groupe PariBioTop, conçu avec l'architecte Andréas Christoforoux. Au départ, les objectifs visés par la végétalisation d'une portion du mur Henri-Noguères étaient de permettre la présence de végétaux dans un milieu urbain dense, d'améliorer l'aspect du paysage, de limiter les désagréments le long des murs (dépôt d'ordures, salissures, etc.), d'augmenter la biodiversité, de créer des corridors écologiques, de protéger la façade des rayons ultra violets et de la pluie battante.

L'aménagement est composé de treillis et d'une pergola sur lesquels grimpent de la glycine à fleurs blanches et à fleurs bleues et du chèvrefeuille parfumé, ponctués de bancs en bois et de boîtes à fleurs. Un réseau d'arrosage automatique est intégré à la structure.

La force du projet, en plus des avantages mentionnés plus haut, repose dans la participation des élèves de l'École polyvalente de la rue Henri-Noguères. Les élèves, en collaboration avec des artistes choisis par la galerie Christine-Phal et des adolescents de l'Association sportive Laumière, ont réalisé une fresque qui s'harmonise avec la végétation. L'aménagement du mur allie donc art, végétalisation et participation citoyenne. Les élèves de la polyvalente voisine ont participé à la plantation et continuent d'entretenir la végétation. Le mur a donc également une vocation pédagogique. Cette réalisation fait aussi partie de la stratégie de requalification de l'espace de l'avenue Jean-Jaurès (Mairie de Paris, 2004).



Figure 4.5 : Mur de la rue Henri-Noguères financé par la Mairie de Paris. ZAC du bassin de la Villette (19^e arrondissement), Paris, 2009.

Photos : Anne-Marie Bernier

Ces quelques exemples démontrent que la végétalisation du bâtiment (des façades en ce qui concerne les trois études de cas) a sa place dans différents contextes urbains et qu'elle a le potentiel de remplir différents objectifs suivant les demandes ou les buts visés. La créativité et le caractère inédit des trois études de cas devraient constituer des sources d'inspiration pour la végétalisation des bâtiments dans une métropole comme Montréal.

These anomalous behaviours, these unconventional ways of thinking are, or could be, the seeds that could engender, context permitting, the plants capable of generating the new ideas of wellbeing, production and economy needed so badly today.

Enzo Manzini *In* Meroni, 2007, p. 13.

CHAPITRE V

PROPOSITIONS POUR MONTRÉAL

À la lumière des qualités potentielles des mesures de végétalisation des bâtiments et des exemples de constructions végétalisées observées à Paris, certaines propositions seront faites dans cette dernière section. L'objectif de ce travail de recherche étant de faire connaître et idéalement de favoriser la végétalisation du médium bâti à Montréal, il semblait incontournable de consacrer une partie de la recherche à des applications concrètes adaptées aux conditions de la ville de Montréal. La végétalisation du bâtiment est en réalité un phénomène peu exploré à Montréal. Les toits plats sont pourtant plus fréquents en Amérique que nulle part ailleurs. Plusieurs constructions sont donc « végétalisables », mais la pratique n'y est pas encore aussi valorisée qu'elle peut l'être en Europe occidentale.

En premier lieu, le concept de façade végétale sera exploré. Les murs végétalisés, si l'on exclut les murs couverts de vigne et de lierre, sont pratiquement inexistants au Québec. Les conditions climatiques sont en partie responsables de cette réalité, mais il ne s'agit certainement pas d'une pratique à négliger. Des pistes de solution seront exposées, mais les expérimentations restent à faire. Par la suite, des zones et des bâtiments à cibler de façon prioritaire pour la végétalisation du bâti dans une ville comme Montréal seront suggérés. Finalement, des propositions concrètes sur des constructions montréalaises existantes seront formulées.

5.1 Murs végétalisés à Montréal

Les toits verts sont de plus en plus connus en Amérique du Nord, mais les façades végétales sont encore rares. Au Québec, la problématique réside dans le fait que la saison de croissance est courte et l'hiver rigoureux. La contrainte principale est en fait le gel des racines durant l'hiver. Le remplacement des plantes mortes chaque année devient à la longue lourd et peu rentable. Se présentent alors deux options : choisir des plantes qui résistent aux éléments (sécheresse, vent, froid), ou bien trouver une façon de protéger les racines des plantes.

Même si l'on favorise l'implantation de plantes indigènes dans un écosystème, les toits et surtout les murs végétalisés représentent des milieux atypiques. Sur les toits, il est envisageable de planter des végétaux indigènes avec une dominance de graminées et de plantes adaptées aux conditions arides, plantes dites succulentes. La plupart des espèces succulentes, telles que les sedums, ne sont toutefois pas indigènes. Sur les façades végétales, les bourrasques de vent sont parfois très importantes en raison de la turbulence créée par les constructions environnantes. Au Québec, la problématique du gel des racines en hiver s'avère encore plus importante sur les façades que sur les toits, vu l'absence de protection par la neige et le mince substrat qu'il est possible d'y implanter.

Différents choix de plantes restent encore à expérimenter. Les plantes des milieux arides comme la montagne (figure 5.1) poussent dans une épaisseur de substrat minime et sont très résistantes. On retrouve des herbacées, des mousses et des lichens proches des espèces semi-désertiques qui arrivent à coloniser la toundra. Les facteurs contraignant leur croissance sont de forts vents, une brève période de croissance et des températures basses. Selon l'orientation du flanc concerné, l'ensoleillement peut toutefois être intense. Le fort rayonnement UV freine la production d'auxine, une hormone d'allongement des tiges. C'est ce qui explique en partie pourquoi les plantes adaptées à ce milieu ont un port bas et se présentent en touffes denses. Cette adaptation leur permet également de résister au vent. Les plantes d'altitude supportent assez bien les basses températures, mais subissent aussi les journées d'hiver ensoleillées en absence de neige, conditions reproduites sur les murs végétalisés dans le climat québécois. Les journées froides et ensoleillées provoquent une forte évaporation, alors

que les racines ne peuvent plus pomper l'eau qui est gelée dans le sol. Leur port en forme de coussin les protège de la dessiccation. L'intérieur de ce coussin est effectivement plus chaud et contient d'anciennes tiges recouvertes de feuilles mortes qui retiennent l'humidité. Le sol y est donc plus riche en humus, même si le substrat est limité. Les plantes montagneuses tolèrent une diminution allant jusqu'à 50 % du contenu en eau de leurs tissus. Certains végétaux se protègent de la dessiccation grâce à leurs feuilles grasses, succulentes, couvertes d'une couche de cire. Ils ont également de puissantes racines qui leur permettent un bon ancrage et un approvisionnement en éléments nutritifs. Les végétaux sempervirents sont particulièrement résistants. Leurs tiges ligneuses ainsi que leurs feuilles raides, coriaces et cirées, recouvertes de poils fins et serrés, les protègent de l'évaporation. La plupart des plantes non sempervirentes ne résistent pas au gel. L'eau à l'intérieur de leurs cellules, en gelant, se dilate et fait éclater les parois cellulaires. Les liquides cellulaires des plantes sempervirentes ont un point de congélation abaissé par une importante concentration de sucre qui augmente la densité du liquide. Ces plantes canalisent l'eau contenue dans leurs parois cellulaires vers les espaces intercellulaires, où la dilatation de l'eau gelée cause moins de dommages. Comme leur feuillage reste vert à l'année, ils prolongent leurs activités photosynthétiques tard en automne et les reprennent tôt au printemps (Stokes, 1991; Stasny et Bejcek, 1989).



Figure 5.1 : Végétation de montagne. Jardin botanique de Montréal, Montréal, avril 2010.
Photos : Anne-Marie Bernier

Une autre avenue à visiter est celle des plantes vivaces croissant à flanc de falaises (figure 5.2). Les plantes de falaises bordant les rivages sont souvent immergées par l'eau. Elles reçoivent également l'eau de pluie et l'eau de ruissellement chargée de nutriments provenant du sol et des débris des plantes poussant plus en hauteur. Il s'agit pratiquement d'une forme d'hydroponie, technique de culture utilisée sur plusieurs murs vivants (Dunnett et Kingsbury, 2008). Les plantes colonisatrices des falaises présentent des adaptations morphologiques et physiologiques en réponse au stress hydrique, à une épaisseur de sol réduite, à la croissance sur une surface verticale et aux conditions microclimatiques extrêmes. Des mousses et des lichens ainsi que certaines espèces de fougères et d'asters font partie des espèces pionnières des falaises (Yuan *et al.*, 2006; Coates et Kirkpatrick, 1992). Les sphaignes et les algues facilitent également l'accumulation de matière organique, l'établissement et la persistance des végétaux (Zartman et Pittillo, 1998).



Figure 5.2 : Végétation de falaise. Lotbinière, Québec, 2009.
Photos : Anne-Marie Bernier

Il faut idéalement éviter les monocultures car, en plus de présenter une faible richesse visuelle et une biodiversité moindre, un mur de monoculture est susceptible d'être atteint dans son ensemble par des problèmes de culture ou des agents pathogènes (Dunnett et Kingsbury, 2008). Le choix de plantes dépend de l'orientation du mur et de leur position sur celui-ci. Dans les parties supérieures, il est préférable d'implanter des espèces de sedums ou de sempervirentes, qui résistent à la sécheresse et à une importante exposition au soleil. Dans les parties inférieures, certaines espèces de fougères, de graminées et d'herbacées sont plus à l'abri et tolèrent mieux l'ombre. L'angle sous lequel apparaissent les plantes sur le mur est aussi à prendre en considération. Selon sa hauteur, on peut y voir la face inférieure du feuillage des végétaux. Les grandes feuilles deviennent alors intéressantes, ainsi que les frondes découpées des fougères. Il faut toutefois limiter les herbacées ayant une croissance en hauteur et choisir plutôt les espèces buissonnantes. Il existe un mur végétalisé à Vancouver, dans Stanley Park, qui présente les végétaux caractéristiques des plantes des promontoires et gorges de la chaîne de montagne des Cascades. Parmi les espèces sélectionnées, on retrouve le thé des bois (*Gaultheria procumbens*), une plante sempervirente, rampante, produisant des fleurs et des fruits; des fougères (*Polypodium glycyrrhiza*, *Dryopteris expansa*); des herbacées vivaces (*Tellima grandiflora*, *Tiarella trifoliata*), ainsi que des plants de fraises (*Fragaria vesca*) et de bleuets (*Vaccinium ovatum*) qui fournissent des fruits pour la faune et le public (Dunnett et Kingsbury, 2008). Il s'agit d'une communauté végétale riche dont on pourrait considérer l'usage et évaluer la pérennité dans nos climats rigoureux. Un autre prototype de jardin vertical a été construit à l'Université de Toronto à des fins de recherche et de démonstration. Le mur ayant un poids minime, il représente un bon exemple de produit pour des immeubles à plusieurs étages (Bass et Baskaran, 2001).

Il est également possible d'adapter les conditions du site pour favoriser la survie des plantes. Une attention spéciale doit être portée au gel à long terme des racines. Le défi à relever est donc de développer une technologie qui permettrait de protéger les racines pendant l'hiver. Cela pourrait se faire par isolation ou encore en installant un système réchauffant périodiquement la paroi du mur de l'intérieur durant les jours de grand froid. Le débat sur la consommation d'énergie demeure cependant un frein à cette option. Les technologies

alimentées par l'énergie solaire couplées à la géothermie représentent une combinaison attrayante, mais peu accessible, dont les coûts demeurent élevés.

Ces quelques propositions sont des pistes de réflexion et d'expérimentation à développer. Le caractère transdisciplinaire des murs et des toits végétalisés est d'autant plus évident lorsque vient le temps de développer des options concrètes. Les botanistes, horticulteurs et spécialistes de l'écologie végétale seront d'une grande utilité pour déterminer les communautés végétales que l'on peut implanter sur des façades végétales au Québec. Les designers, architectes et ingénieurs seront quant à eux essentiels pour créer et adapter les technologies de végétalisation au climat québécois.

5.2 Quartiers défavorisés

Comme il a été démontré plus haut, la végétalisation du bâtiment présente de multiples avantages potentiels en milieu urbain. Comme la collecte de données sur le terrain a démontré que les effets sur la température étaient parmi les bénéfices les plus fréquemment évoqués en ce qui a trait aux efforts de végétalisation, la régulation de la température a ici été sélectionnée comme critère pour cibler les zones prioritaires. Les zones qui manquent d'espaces verts sont celles qui profiteraient le plus de la végétalisation des bâtiments. À une époque où l'on s'inquiète des conséquences des changements climatiques, où l'urgence d'agir pour limiter l'évolution du réchauffement climatique est toujours plus criante, il semble que la question des microclimats urbains et de la régulation de la température s'avère un choix justifié. Dans le *Plan stratégique de développement durable* de la Ville de Montréal, les toits verts et les façades végétalisées sont reconnus comme étant des pratiques efficaces afin de combattre l'effet d'îlot de chaleur urbain et les problèmes de qualité de l'air qui y sont liés (Ville de Montréal, 2009). Comme la ville est un écosystème dominé par l'humain, les conditions sociales doivent aussi être prises en compte dans le choix des zones cibles de végétalisation du bâti.

Un quartier avec de hautes températures moyennes et une faible variation de température est le pire scénario possible pour les communautés vivantes, qu'elles soient humaines ou non. La

variation climatique est en corrélation avec la modification du couvert végétal. En Amérique du Nord, les schémas d'occupation de l'espace des populations urbaines, lesquels ont une influence directe sur la qualité de vie, sont indissociables de certains facteurs comme les classes sociales et l'origine ethnique des habitants. Le concept d'iniquité environnementale est l'expression de ces tristes constats (Jenerette *et al.*, 2007).

Les bénéfices environnementaux et la concentration de polluants sont reliés aux conditions socioéconomiques des résidants d'un quartier. Il existe une relation entre la végétation et le microclimat, qui sont eux-mêmes influencés par les schémas d'établissement urbains. En milieu urbain, la quantité, le type et la distribution de la végétation sont contrôlés par l'humain, il existe donc des déterminants sociaux qui influencent la distribution de la végétation. La densité de population et le statut socioéconomique sont ceux qui présentent les plus fortes corrélations avec les schémas de distribution de végétation. À l'échelle du quartier, l'importance du couvert végétal est proportionnelle au revenu du ménage moyen. Un revenu moyen plus élevé permet une gestion plus intensive de la végétation, qui entraîne une plus grande biomasse, mais aussi une utilisation supérieure d'eau et de fertilisants. L'importance du couvert végétal est elle-même corrélée à la température de surface moyenne : plus le couvert végétal augmente, plus la température de surface moyenne est basse, et inversement. Cela s'explique par un albédo supérieur, l'ombrage et l'évapotranspiration. On peut donc résumer ainsi : le revenu du ménage moyen détermine l'importance du couvert végétal et, par le fait même, a un effet sur la température de surface moyenne (Jenerette *et al.*, 2007).

Par contre, la différence entre la température la plus chaude et la température la plus froide à l'intérieur d'un quartier est plutôt reliée à la densité de population. Plus la densité est faible, plus les configurations d'établissement possibles sont nombreuses et présentent des températures de surfaces hétérogènes. À mesure que la densité de population augmente, les configurations d'établissement possibles diminuent et sont le plus souvent dominées par des installations résidentielles dans lesquelles les espaces verts tendent à se raréfier. La variation de la température de surface est moindre, parce que le paysage est plus homogène. La

corrélation entre densité de population et température de surface moyenne est cependant négligeable à l'échelle du quartier (Jenerette *et al.*, 2007).

Le lien entre la santé humaine et la présence d'espaces verts est démontré. Il se présente toutefois de deux manières. La première hypothèse, celle du mécanisme de sélection, stipule que les gens plus nantis, souvent plus en santé, s'installent dans les environnements plus verts. Les habitants de ces zones sont en meilleure santé, même dans l'éventualité où l'environnement ne favorise pas directement leur bien-être et leur qualité de vie. L'autre hypothèse, celle de causalité, suggère que les habitants d'un environnement plus vert sont en meilleure santé, parce que celui-ci la favorise. Les environnements verts peuvent favoriser la santé humaine de deux façons. La présence de parcs et d'espaces verts encourage les habitants à passer plus de temps à l'extérieur et à faire de l'exercice, que ce soit dans le cadre d'activités récréatives ou pour l'entretien des espaces aménagés. Cette hypothèse concerne le comportement humain. La deuxième hypothèse concerne le phénomène d'exposition. Il est effectivement prouvé que la simple vue de paysages « naturels » a un effet positif sur l'humeur et la concentration. La diminution de la pollution atmosphérique due à la présence de végétaux filtrants a également un effet sur la santé physique. Dans le cas des toits et des murs végétaux, l'activité physique nécessaire à l'entretien, la qualité du paysage, l'esthétique et la diminution de la pollution sont quelques-uns des effets bénéfiques potentiels sur l'humain. Des chercheurs des Pays-Bas ont observé, sur la base d'évaluation de plusieurs critères, que les groupes moins favorisés d'un point de vue socioéconomique ont une santé plus fragile. Ils ont aussi démontré que la présence d'espaces verts a un impact significatif sur la santé des groupes moins scolarisés, alors qu'elle n'a pas d'impact significatif sur les groupes de scolarité plus avancée. En effet, les groupes au statut socioéconomique élevé sont moins dépendants de leur environnement local pour adopter un mode de vie sain. Pour améliorer la qualité de vie grâce à la végétalisation, il est donc plus rentable d'agir dans les quartiers défavorisés, car la possibilité d'améliorer leur condition est plus probable, si l'on accepte l'explication de causalité (de Vries *et al.*, 2003).

Les quartiers urbains denses et défavorisés sont donc des zones prioritaires en ce qui concerne la végétalisation. Dans les quartiers denses, la surface au sol disponible pour le

verdissement est restreinte. La végétalisation des constructions pourrait être une solution envisageable au problème. Les logements sociaux et communautaires situés dans ces quartiers densément peuplés semblent donc être une cible de choix pour les efforts de végétalisation sur les bâtiments. L'Éden bio et la *Tower Flower* d'Édouard François (chapitre 4) sont à ce sujet des exemples inspirants de végétalisation de logements subventionnés.

Les logements sociaux et communautaires sont déjà subventionnés. Prévoir des fonds supplémentaires pour leur verdissement ne serait donc pas excessivement complexe sur le plan strictement administratif. Les mesures incitatives pour l'ensemble de la population ne doivent évidemment pas être mises de côté mais plutôt être accompagnées de groupes de ressources techniques pouvant fournir les services et les conseils en écohabitation. Il est nécessaire de planifier des cas exemplaires de végétalisation de bâtiments afin de convaincre le plus grand nombre des bienfaits des toitures et murs végétaux. C'est précisément le rôle de cas exemplaire que pourraient jouer les logements sociaux végétalisés. Alors que les dirigeants politiques de tous niveaux, autant municipal que provincial et fédéral, prennent position en faveur de la protection de l'environnement et encourageant un développement durable, le fait de donner le rôle de pionnier du verdissement de nos villes aux logements subventionnés permettrait aux divers paliers gouvernementaux d'adopter une position claire et exemplaire. Au Québec, les fonds octroyés aux logements sociaux verts ne devraient pas provenir exclusivement du budget de la Société d'habitation du Québec, de la Société canadienne d'hypothèques et de logement et des municipalités. Le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs a également son rôle à jouer dans la promotion de la végétalisation des logements sociaux. Les mesures incitatives peuvent aussi prendre la forme de crédits d'impôt pour les promoteurs et les firmes d'architectes qui favorisent les bâtiments végétalisés lorsque le contexte s'y prête. Le programme de Bourse du carbone de la *Western Climate Initiative* (WCI) pourrait éventuellement servir le financement des entreprises qui génèrent des façades ou des toitures végétalisées. Le programme est une sorte de marché financier au sein duquel les entreprises générant une quantité de gaz à effet de serre dépassant les limites permises par le barème préétabli peuvent acheter des crédits de carbone aux entreprises qui émettent moins de gaz à effet de serre que la limite permise. D'ici 2012, seuls les grandes industries et les producteurs d'électricité

pourront bénéficier d'un accès à ce marché. Dès 2015, le transport, les secteurs résidentiel, commercial et de la petite industrie pourront profiter du programme (WCI, 2010).

À titre d'exemple, en Allemagne, l'Acte fédéral de protection de la nature, le Code fédéral de la construction et les statuts régionaux de protection de la nature stipulent que les constructions doivent éviter des dommages inutiles à la nature ou au paysage. Comme il a été mentionné plus haut, quand les dommages sont inévitables, ils doivent être compensés dans un laps de temps déterminé, en remplaçant la surface végétale supprimée au sol par un toit vert, par exemple. Au niveau local, il existe une aide financière directe à la construction, une réduction de la taxe sur l'évacuation des eaux pluviales et des obligations sur les nouvelles constructions qui doivent inclure des toits végétalisés. Tous les échelons gouvernementaux et plusieurs agences au sein d'un même niveau gouvernemental contribuent à la végétalisation des bâtiments (Dunnett et Kingsbury, 2008). Le saut entre une réalisation individuelle et une infrastructure ayant un impact écologique ne peut se faire sans législation gouvernementale. Les écosystèmes urbains ne peuvent toutefois pas être gérés par de simples politiques gouvernementales «descendantes»⁶. Une approche de gestion consultative et l'action coordonnée de plusieurs acteurs est nécessaire pour obtenir l'équilibre entre les fonctions sociales et écologiques (Alberti *et al.*, 2003).

Il est donc indispensable de consulter les communautés touchées par les mesures de végétalisation. En effet, il est primordial de connaître les réels besoins et soucis des habitants des quartiers visés tout en leur exposant les avantages de la végétalisation de leurs habitations. En fait, selon Peck *et al.* (1999), un projet de végétalisation sur des bâtiments résidentiels multiples ne peut fonctionner sans le soutien et la participation des membres de la communauté. Le fait de consulter les groupes cibles vise aussi à rendre les impacts positifs potentiels des mesures de verdissement plus tangibles. La sensibilisation aux cycles naturels, l'appréciation de la qualité du paysage, le sens de la communauté et le sentiment d'appartenance ne peuvent surgir que si les projets sont issus d'un minimum de concertation entre les acteurs. L'entretien peut éventuellement donner lieu à des rencontres, devenir une

⁶ De l'anglais, *top-down*.

façon de socialiser et peut se faire en partie par les résidants, plutôt que par une entreprise externe. Un cadre éducatif, s'adressant en priorité aux enfants, mais aussi au reste de la communauté, doit idéalement être développé dans l'optique de conscientiser la population aux bénéfices et ainsi favoriser sa participation à l'entretien des bâtiments végétalisés.

Il serait éventuellement utile de combiner plusieurs critères de sélection pour déterminer quelles sont les zones à cibler pour la végétalisation du bâtiment. Ces critères pourraient, par exemple, être les zones où la gestion des eaux pluviales, la qualité de l'air ou la biodiversité gagneraient à être améliorées. Un modèle utilisant un système d'information géographique (SIG) afin de superposer les zones prioritaires en fonction de ces critères, en plus de la régulation de la température et la densité de construction, permettrait de préciser les territoires auxquels profiteraient le plus la végétalisation des bâtiments.

5.3 Proposition sur des constructions existantes

Afin de mettre en pratique les réflexions et commentaires qui précèdent, un territoire existant dans une zone urbaine dense de Montréal a été exploré. Des propositions concernant une façade végétale, des toits verts et d'autres mesures de végétalisation seront donc exposées ici. Il ne s'agit pas d'une étude exhaustive ni d'un devis d'aménagement précis. L'auteure de ce mémoire n'étant ni ingénieure, ni architecte, ni paysagiste, la proposition est une autre piste de réflexion qui doit être reprise par les gens compétents dans le domaine. La collaboration entre les acteurs issus de différentes disciplines est une fois de plus la clé de la réussite.

À Montréal, dans le quadrilatère délimité du nord au sud par les rues Ontario et Boisbriand, et de l'ouest à l'est par les rues Saint-Dominique et Sanguinet, se trouvent les Habitations Jeanne-Mance (figures 5.3 et 5.4). Il s'agit d'un complexe de 788 logements sociaux construits à la fin des années 1950. Il est composé de cinq tours de 12 étages et de blocs d'appartements en rangée. Les occupants proviennent de 70 communautés culturelles différentes. Des efforts de revalorisation ont généré divers résultats les dernières années : deux murales, une mosaïque ainsi que des bennes à ordures ornées de graffitis réalisés par de jeunes résidants. Le jardin communautaire est également en voie de reprendre vie. Le

complexe Jeanne-Mance reste toutefois un quadrilatère qui gagnerait à être réaménagé. Il s'agit d'un moment opportun pour se pencher sur la question, car l'entente entre la Ville de Montréal et la Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL) pour l'entretien des Habitations Jeanne-Mance prendra fin sous peu (Corporation d'habitation Jeanne-Mance, 2009). Le choix de ce complexe de logements peut toutefois être discuté étant donné que les toits des tours représentent moins de 5 % de la superficie du site. Les efforts de végétalisation doivent donc également cibler les façades et l'aménagement des balcons.



Figure 5.3 : Habitations Jeanne-Mance. Montréal, Québec, 2009.
Photo : Anne-Marie Bernier



Figure 5.4 : Habitations Jeanne-Mance. Montréal, Québec, 2009.

Photo : Anne-Marie Bernier

L'effet d'îlot de chaleur urbain et la gestion de l'eau de ruissellement sont des préoccupations touchant la zone fortement urbanisée dans laquelle est situé le quadrilatère des Habitations Jeanne-Mance. La qualité de l'espace et l'esthétique du complexe d'habitation laissent également à désirer. Le complexe Habitations Jeanne-Mance est voisin de l'Université du Québec à Montréal (UQAM) et occupe un terrain central d'une grande valeur. Quelques mesures seront proposées ici afin d'améliorer la qualité de vie des habitants et de la collectivité montréalaise.

Les cinq tours possèdent des toits plats qui gagneraient à être végétalisés si leur structure le permet. L'évaluation de la capacité portante des toits par un ingénieur en structure devra précéder toute intervention. L'idéal serait de végétaliser une partie de ces toits de façon extensive, demandant un entretien limité, tout en permettant l'accès aux résidents. Les balcons de ces mêmes tours permettent un système de végétation étagée. Des végétaux grimpants plantés au sol, des plantes en pots sur les balcons, à la façon de la *Tower Flower*

(voir section 4.4.2), une végétation retombante plantée sur le toit seraient quelques-unes des options possibles pour végétaliser et agrémenter ces hautes façades bétonnées.

La façade sud-ouest du 270, boulevard de Maisonneuve Est présente un mur aveugle de trois étages (figures 5.5 et 5.6). L'installation d'un mur végétalisé serait un défi pour les professionnels et les occupants. Une façade orientée sud-ouest est grandement exposée à la lumière du soleil. La protéger avec un mur de végétation durant l'été contribue à la refroidir. Le choix de végétaux qui perdent leurs feuilles en hiver permet de réchauffer la paroi durant la saison froide.

Il faudrait tout d'abord apposer au mur une membrane imperméable anti-racines. Ensuite, il serait nécessaire de poser un cadre en acier supportant des panneaux de polypropylène couplés à une enveloppe textile ou de polyéthylène à haute densité (PEHD). Dans les deux cas, les végétaux pourraient être insérés avec un substrat de croissance. Un mur vivant est alimenté par un système de goutte-à-goutte distribuant une solution chargée d'éléments nutritifs. Un système modulaire serait préférable, étant donné le caractère expérimental d'une façade végétale de ce type à Montréal. En cas d'échec de la survie des plantes en hiver, il serait alors possible de remplacer seulement les modules affectés. Un système de récupération de l'eau de pluie par la gouttière pourrait servir à alimenter le réseau d'irrigation goutte-à-goutte. Reste à voir si le mur peut être protégé durant l'hiver pour minimiser les dommages par le vent et le froid. La possibilité de simplement retirer les modules contenant les plantations durant l'hiver demeure une option, avant d'avoir trouvé les solutions optimales.



Figure 5.5 : Façade sud-ouest du 270, boulevard de Maisonneuve Est. Montréal, Québec, 2009.

Photo : Anne-Marie Bernier



Figure 5.6 : Contexte de la façade du 270, boulevard de Maisonneuve Est. Montréal, Québec, 2009.

Photo : Anne-Marie Bernier

Des murets de béton séparent les différentes aires extérieures des Habitations Jeanne-Mance (figure 5.7). Les murs de séparations pourraient prendre la forme de gabions : des pierres retenues par des fils métalliques. Les pierres en question peuvent être récupérées des débris de construction des zones environnantes et ajoutées autour des murets pour éviter d'avoir à les démolir et à les remplacer. Les plantes sauvages vigoureuses colonisent assez facilement les gabions en s'établissant entre les pierres si les espaces entre celles-ci sont remplis de terre. La terre peut être aussi récupérée de débris ou de friches avoisinantes. Les semences contenues dans le substrat peuvent alors coloniser les gabions. La présence d'un géotextile et d'un tapis filtrant sur la surface du gabion rempli de pierres et de substrat de croissance permet l'ensemencement de graminées, par exemple (Dunnett et Kingsbury, 2008).



Figure 5.7 : Murets de béton séparant les différentes aires des Habitations Jeanne-Mance. Montréal, Québec, 2009.
Photo : Anne-Marie Bernier

Greenroofs are the greenest thing one can do in construction except not to build at all.

Patrick Carey, 2005, p. n/d.

CONCLUSION

La présente étude portait sur la pratique de la végétalisation des toitures et des façades en milieu urbain. Le concept de ville durable (inspiré du « développement durable »), qui plane sur tout le travail, nécessite une attitude responsable face à l'environnement. Cette attitude doit être multiculturelle et multidisciplinaire. Elle n'est pas que celle des architectes et des architectes du paysage, des urbanistes et des instances gouvernementales, elle doit venir de toute la société. La végétalisation des bâtiments est « l'union architecturale de l'esthétisme, de l'économie et de l'écologie » (Velazquez, 2005). La recherche se situait donc dans le contexte transdisciplinaire des sciences de l'environnement : l'écologie et la biologie végétale, les sciences humaines et les disciplines de l'aménagement ont toutes été concernées à un moment ou à un autre de la recherche. L'écologie urbaine a été adoptée comme cadre théorique, ce qui implique une perception de la ville comme un écosystème dans lequel l'humain est l'une des espèces interagissant avec les autres espèces et leur environnement.

La question derrière tout le processus de la recherche était la suivante : comment la végétalisation du bâti peut-elle contribuer à l'amélioration de la qualité de vie individuelle et collective en milieu urbain? La réponse à la question a pris la forme de trois objectifs secondaires : identifier et documenter les bénéfices de la végétalisation du bâti en milieu urbain; relever les différentes formes que peut prendre la végétalisation du bâtiment; cibler et proposer des efforts de végétalisation du bâti à envisager dans le contexte montréalais.

La recherche a été construite comme une étude qualitative inductive exploratoire. La collecte de données a été effectuée par recherche documentaire sous forme de revue critique de la littérature, par entretiens non dirigés et observation directe. Les données recueillies ont été caractérisées par une analyse de contenu. La stratégie d'étude de cas exemplaires a servi à illustrer les informations ayant au préalable été filtrées par la revue critique. Une rétroaction

constante entre les documents écrits, oraux et visuels extraits lors de la démarche d'étude de cas et les connaissances tirées de la revue critique théorique a été opérée tout au long de la recherche. Un biais en faveur des bénéfices de la végétalisation du bâtiment a été consciemment et volontairement adopté, étant donné que l'objectif ultime du travail était de valoriser les efforts de végétalisation en milieu urbain.

L'histoire de la végétalisation du bâtiment remonte aux jardins suspendus de Babylone. De tous les temps, les citadins ont ressenti le besoin de « nature en ville ». Faute d'espace, les bâtiments sont spontanément devenus des surfaces au potentiel de verdissement. D'autres raisons ont également motivé la végétalisation des bâtiments en ville, comme la protection contre les incendies et l'isolation thermique (Dunnett et Kingsbury, 2008). Ces motivations ont été abordées plus longuement dans le chapitre sur les bénéfices de la végétalisation du bâti en milieu urbain.

La végétalisation des bâtiments présente en effet de nombreux bénéfices dans le contexte urbain. La régulation de la température et l'atténuation de l'effet d'îlot de chaleur urbain, ainsi que la gestion des eaux de ruissellement sont les principaux effets bénéfiques évoqués lorsqu'il s'agit de promouvoir la végétalisation des bâtiments. L'isolation thermique et acoustique, la biodiversité, la qualité de l'air et la qualité de l'espace sont d'autres éléments bonifiés par des bâtiments végétalisés en ville (Bass et Baskaran, 2001; Dunnett et Kingsbury, 2008; Peck *et al.*, 1999).

La Ville de Paris s'est révélée être un riche lieu d'étude en ce qui concerne les efforts de végétalisation sur les structures construites. Paris présente toutes les caractéristiques des grands centres urbains occidentaux et le phénomène de végétalisation du bâtiment y est en pleine explosion. De plus en plus de façades végétales y sont observables, ce qui représentait un intérêt particulier pour la recherche, vu le peu d'exemples montréalais. Des études de cas exemplaires ont été relevées afin de documenter les différentes formes que peuvent prendre les façades végétales.

Les observations, entretiens et études de cas effectués à Paris ont servi d'inspiration pour le dernier chapitre de recommandations pour le contexte montréalais. Des propositions pour la conception de murs végétalisés viables au Québec ont tout d'abord été formulées. L'utilisation de plantes des montagnes et des falaises, de plantes sempervirentes résistantes, ainsi que la protection des racines contre le gel étaient les principales recommandations à ce sujet. Selon les critères de température, de densité de construction et de revenu moyen, les quartiers défavorisés semblent être des zones cibles pour la végétalisation du bâtiment (Jenerette *et al.*, 2007 et de Vries *et al.*, 2003). Les logements sociaux ont été proposés comme bâtiments à végétaliser afin de démocratiser la pratique et de générer des bénéfices de façon la plus profitable possible.

Afin de rendre les recommandations plus concrètes, les Habitations Jeanne-Mance, un complexe de logements subventionnés situé au centre-ville de Montréal, ont été sélectionnées et des suggestions de mesures de végétalisation ont y été formulées. Parmi ces recommandations, on retrouve l'implantation de toits verts extensifs accessibles au public et celle d'une façade végétale expérimentale.

Certains débats persistent toujours et freinent les efforts de végétalisation en milieu urbain. Tout d'abord, l'augmentation du couvert végétal augmente les besoins en eau et en fertilisants. Dans les villes au climat chaud et sec, la disponibilité de l'eau est une problématique prioritaire à celle du verdissement. L'utilisation de fertilisants est également contestée. Le développement de réseaux de collecte des déchets organiques pour la fabrication de compost est une partie de la solution. Voilà pourquoi, dans un monde idéal, les mesures de verdissement doivent être réfléchies et appliquées de façon concertée, afin de maximiser les bénéfices sur l'environnement et sur les humains. Malgré ces objections, tous risques, coûts et bénéfices considérés, le prix de l'inaction est plus grand que celui de l'action dans la plupart des cas de végétalisation de bâtiments en milieu urbain.

BIBLIOGRAPHIE

- Alberti, Marina et John M. Marzluff. 2004. « Ecological resilience in urban ecosystems : linking urban patterns to human and ecological functions ». *Urban ecosystems*, vol. 7, p. 241-265.
- Alberti, Marina, John M. Marzluff, Eric Shulenberg, Gordon Bradley, Clare Ryan et Craig Zumbrunnen. 2003. « Integrating humans into ecology : opportunities and challenges for studying urban ecosystems ». *BioScience*, vol. 53, no 12, p. 1169-1179.
- Andersson, Erik. 2006. « Urban landscapes and sustainable cities ». *Ecology and society*, vol. 11, no 1, p. n/d. En ligne < <http://www.ecologyandsociety.org/vol11/iss1/art34/> > Consulté le 8 décembre 2009.
- Baker, Lawrence A. 2006. « Perils and pleasures of multidisciplinary research ». *Urban ecosystems*, vol. 9, p. 45-47.
- Bass, Brad et Bas Baskaran. 2001. *Evaluating Rooftop and Vertical Gardens as an Adaptation Strategy for Urban Areas*. Ottawa : National Research Council Canada, Institute for Research in Construction, 106 p.
- Blais, Roger et Maria Villaveces. 2005. *Sustainable urban development*. Oshawa : University of Ontario Institute of Technology, Provost Office. Cité dans Jacobs, Peter. 2007. « Nous sommes tous les urbains. Esquisses et perspectives de l'environnement urbain ». In *Lancement de la revue Environnement urbain/Urban Environment* (6 février 2007) : INRS - UCS.
- Botkin, D.B. et C.E. Beveridge. 1997. « Cities as environments ». *Urban ecosystems*, vol. 1, p. 3-19.
- Brenneisen, S. 2005. *Proceedings of the Third Annual International Green Roofs Conference : Greening Rooftops for Sustainable Communities (Washington DC)*. Toronto : The Cardinal Group. Cité dans Dunnett, Nigel et Noël Kingsbury. 2008. *Toits et murs végétaux*, 2^e édition. Rodez : Éditions du Rouergue, 325 p.
- Brunet, Normand. 1995. « Écosystème urbain et flux d'information ». Thèse de doctorat, Montréal, Institut des sciences de l'environnement, Université du Québec à Montréal, 362 p.

- Buchanan, Peter. 2005. *Ten Shades of Green*. New York : Architectural League of New York, 128 p.
- Campbell, N. A. 1995. *Biologie*. Saint-Laurent : ERPI, 1190 p.
- Candon, Nathalie. 1996. *La composition urbaine. Note et essai bibliographique*. Direction de l'Architecture et de l'Urbanisme, Paris : Les éditions Villes et Territoires, 79 p.
- Cantor, Steven L. 2008. *Green roofs in sustainable landscape design*. New York : W.W Norton and Company, 352 p.
- Carey, Patrick. Communication personnelle, 21 février 2005. Cité dans Velazquez, Linda S. 2005. « Organic greenroof architecture : sustainable design for the new millennium ». *Environmental quality management*, vol. été, p. 73-85.
- Carter, Timothy et C. Rhett Jackson. 2007. « Vegetated roofs for stormwater management at multiple spatial scales ». *Landscape and urban planning*, vol. 80, p. 84-94.
- CAUE, Paris. 2009. « Café architecture durable : Toitures et murs végétalisés à Paris ». CAUE, Paris. En ligne < <http://caue75.archi.fr/espace-info-energie-4/cafes-architecture-durable/les-toitures-et-murs-vegetalises.html> > Consulté le 8 décembre 2009.
- Chevrier, Jacques. 2003. « La spécification de la problématique ». In *Recherche sociale, 4^e édition : De la problématique à la collecte des données*, sous la dir. de Benoît Gauthier, p. 51-84. Sainte-Foy : Les Presses de l'Université du Québec.
- Clément, Gilles. 2001. *Le jardin en mouvement : de la vallée au jardin planétaire*. Coll. « Calepin ». Paris : Sens et Tonka, 281 p.
- Coates, F. et J. B. Kirkpatrick. 1992. « Environmental relations and ecological responses of some higher plant species on rock cliffs in northern Tasmania ». *Australian Journal of Ecology*, vol. 17, p. 441-449.
- Corner, James. 1997. « Ecology and landscape as agents of creativity ». In *Ecological Design and Planning*, sous la dir. de George F. Thompson et Frederick R. Steiner, p. 81-108. New York : John Wiley and Sons, Inc.
- Corporation d'habitation Jeanne-Mance. 2009. « Habitations Jeanne-Mance ». En ligne < <http://www.chjm.ca/> > Consulté le 21 novembre 2009.
- Cunningham, Neil R. 2001. « Rethinking the urban epidermis : A study of the viability of extensive green roof systems in the Manitoba Capital with an emphasis on regional case studies and stormwater management ». Mémoire de maîtrise ès architecture du paysage, Winnipeg, University of Manitoba, 270 p.

- Daunais, Jean-Paul. 1992. « L'entretien non-directif ». In *Recherche sociale. De la problématique à la collecte des données*, sous la dir. de Benoît Gauthier, p. 273-293. Sillery : Les Presses de l'Université du Québec.
- Demers, Claude M.H. et André Potvin. 2008. « Productivité durable, vers une biophilie architecturale ». *Esquisses*, vol. 19, no 2, p. 21-23.
- Dooling, Sarah, Jessica Graybill et Adrienne Greve. 2007. « Response to Young and Wolf : goal attainment in urban ecology research ». *Urban ecosystems*, vol. 10, p. 339-347.
- Dramstad, W.E., J.D. Olson et R.T.T. Forman. 1996. « Landscape ecology principles in landscape architecture and land-use planning ». Mémoire de maîtrise, Cambridge (MA), School of design, Harvard University. Cité dans Velazquez, Linda S. 2005. « Organic greenroof architecture : sustainable design for the new millennium ». *Environmental quality management*, vol. été, p. 73-85.
- Dunnett, Nigel et Noël Kingsbury. 2008. *Toits et murs végétaux*, 2^e édition. Rodez : Éditions du Rouergue, 325 p.
- Earth Pledge. 2005. *Green Roofs : Ecological Design and Construction*. Atglen : Schiffer Publishing Ltd., 158 p.
- Eumorfopoulou, E.A. et K.J. Kontoleon. 2009. « Experimental approach to the contribution of plant-covered walls to the thermal behaviour envelopes ». *Building and environment*, vol. 44, p. 1024-1038.
- Frampton, Kenneth. 1972. « Travail, oeuvre et architecture ». In *Le sens de la ville*, p. 131-152. Paris : Les Éditions du Seuil.
- François, Édouard. 2009. Tower Flower, Paris. Fiche technique. Communication personnelle. Paris : Randa Kamel pour Édouard François.
- Gabor, D. 1972. « Diversification of cities and the revival of city culture ». In *Arts of the environment*, sous la dir. de Gyorgy Kepes, p. 40-51. New York : Georges Braziller.
- Getter, Kristin L. et D. Bradley Rowe. 2006. « The role of extensive green roofs in sustainable development ». *HortScience*, vol. 41, no 5, p. 1276-1285.
- GIEC. 1995. *Changements climatiques : un glossaire du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*. En ligne < http://www.ipcc.ch/home_languages_main_french.htm > Consulté le 20 novembre 2009.
- Girardet, Herbert. 2004. *Cities people planet*. Chichester (NJ) : Wiley-Academy, 296 p.

- Green Roofs for Healthy Cities. 2009. « Green roofs benefits ». En ligne
 < <http://www.greenroofs.org/index.php/about-green-roofs/green-roof-benefits> >
 Consulté le 3 décembre 2009.
- Guite, H.F., C. Clark et G. Ackrill. 2006. « The impact of the physical and urban environment on mental well-being ». *Public Health*, vol. 120, p. 1117-1126.
- Guppy, Shusha. 1995. *Un jardin à Téhéran*. Coll. « Libretto ». Paris : Éditions Phébus, 291 p.
- Hodgson, Larry. 2009. « Les murs végétalisés ». Montréal : Conférence dans le cadre du Salon Toits verts et jardins de ville. 7 avril 2009.
- Houdart, Thierry et Marie-France Houdart. 2004. *La prairie sur le toit*. La Nouaille : Éditions Maiade, 131 p.
- Huybens, Nicole et Claude Villeneuve. 2004. « La professionnalisation du développement durable : au-delà du clivage ou de la réconciliation écologie – économie ». *Vertigo, la revue en sciences de l'environnement sur le Web*, vol. 5, no 2. En ligne
 < http://www.vertigo.uqam.ca/vol5no2/art12vol5no2/n_huybens_c_villeneuve.htm >
 Consulté le 28 septembre 2007.
- Jacobs, Peter. 2007. « Nous sommes tous les urbains. Esquisses et perspectives de l'environnement urbain ». In *Lancement de la revue Environnement urbain/Urban Environment*, 6 février 2007 : INRS-UCS.
- Jenerette, G. Darrel, Sharon L. Harlan, Anthony Brazel, Nancy Jones, Larissa Larsen et William L. Stefanov. 2007. « Regional relationships between surface temperature, vegetation, and human settlement in a rapidly urbanizing ecosystem ». *Landscape ecology*, vol. 22, p. 353-365.
- Jim, C Y. 2004. « Green-space preservation and allocation for sustainable greening of compact cities ». *Cities*, vol. 21, no 4, p. 311-320.
- Johnson, Mark. 1997. « Ecology and the urban aesthetics ». In *Ecological Design and Planning*, sous la dir. de George F. Thompson et Frederick R. Steiner, p. 167-184. New York : John Wiley and Sons, Inc.
- Johnston, J. et J. Newton. 1996. *Building green, a guide for using plants on roofs, walls and pavements*. London : The London Ecology Unit. Cité dans Peck, Steven W., Chris Callaghan, Monica E. Kuhn et Brad Bass. 1999. *Greenbacks from green roofs : forging a new industry in Canada*. Société canadienne d'hypothèques et de logement, 78 p.

- Kaplan, S., J.F. Talbot et R. Kaplan. 1988. *Coping with hassles : The impact of the nearby natural environment*. North Central Forest Experiment Station USDA Forest Service, Urban Forestry Unit Cooperative. Cité dans Getter, Kristin L. et D. Bradley Rowe. 2006. « The role of extensive green roofs in sustainable development ». *HortScience*, vol. 41, no 5, p. 1276-1285.
- Kenworthy, Jeffrey R. 2006. « The eco-city : ten key transport and planning dimensions for sustainable city development ». *Environment and urbanization*, vol. 18, no 1, p. 67-85.
- Kepes, Gyorgy. 1972. *Arts of the environment*. New York : Georges Braziller, 244 p.
- Köhler, Manfred. 2008. « Green façades—a view back and some visions ». *Urban ecosystems*. En ligne < <http://www.springerlink.com/content/e0q0t355762898h1> > Consulté le 8 décembre 2009.
- Kumar, Rakesh et S.C. Kaushik. 2005. « Performance evaluation of green roof and shading for thermal protection of buildings ». *Building and environment*, vol. 40, p. 1505-1511.
- Lambertini, Anna, Jacques Leenhardt et Mario Ciampi. 2007. *Vertical Gardens*. London : Thames and Hudson Ltd, 239 p.
- Landreville, Maude. 2005. *Toitures vertes à la montréalaise*. Montréal : Société de développement communautaire de Montréal, 106 p.
- Laperrière, Anne. 2003. « L'observation directe ». In *Recherche sociale, 4^e édition : De la problématique à la collecte des données*, sous la dir. de Benoît Gauthier, p. 269-291. Sainte-Foy : Les Presses de l'Université du Québec.
- Laurie, Micheal. 1997. « Landscape architecture and the changing city ». In *Ecological Design and Planning*, sous la dir. de George F. Thompson et Frederick R. Steiner, p. 155-166. New York : John Wiley and Sons, Inc.
- Lazzarin, Renato M., Francesco Castellotti et Filippo Busato. 2005. « Experimental measurements and numerical modelling of a green roof ». *Energy and building*, vol. 37, p. 1260-1267.
- Levi-Strauss, Claude. 1966. *Tristes tropiques*. Coll. « Le Monde en 10/18 ». Paris : Union générale d'éditions, 380 p.
- Lewis, Marianne W. 1998. « Iterative triangulation : a theory development process using existing case studies ». *Journal of Operations Management*, vol. 16, p. 455-469.

- Mairie de Paris. 2004. Un nouveau mur végétal rue Henri Noguères dans le 19^{ième} arrondissement. Paris. En ligne
 < http://www.v2asp.paris.fr/.../Mur_Vegetal_Henri_Nogueres.pdf > Consulté le 4 mai 2009.
- , 2009a. « Démographie ». Direction de l'information et de la communication (DICOM). En ligne < http://www.paris.fr/portail/accueil/Portal.lut?page_id=5427 > Consulté le 28 novembre 2009.
- , 2009b. « Parc André-Citroën ». Direction de l'information et de la communication (DICOM). En ligne
 < http://www.paris.fr/portail/Parcs/Portal.lut?page=equipment&template=equipment.template.popup&document_equipment_id=1791 > Consulté le 28 novembre 2009.
- , 2009c. « Promenade plantée ». Direction de l'information et de la communication (DICOM). En ligne
 < http://www.paris.fr/portail/Parcs/Portal.lut?page=equipment&template=equipment.template.popup&document_equipment_id=1772 > Consulté le 28 novembre 2009.
- , 2009d. « Végétalisation des toitures-terrasses ». Direction de l'urbanisme Paris. En ligne
 < http://www.paris.fr/portail/Urbanisme/Portal.lut?page_id=6785&document_type_id=5&document_id=63491&portlet_id=15473 > Consulté le 8 décembre 2009.
- Manzini, Ezio. 1991. *Artefacts, Vers une écologie de l'environnement artificiel*. Coll. « Les Essais ». Paris : Éditions du Centre Pompidou, 254 p.
- , 2007. « A laboratory of ideas. Diffused creativity and new ways of doing ». In *Creative communities. People inventig sustainable ways of living.*, sous la dir. de Anna Meroni, p. 13-15. Milano : Edizioni Poli. design.
- Matsuoka, R. H., et R. Kaplan. 2008. « People needs in the urban landscape : Analysis of Landscape And Urban Planning contributions ». *Landscape and urban planning*, vol. 84, no 1, p. 7-19.
- Mayer, Elizabeth K. 1997. « The expand field of landscape architecture ». In *Ecological design and planning*, sous la dir. de George F. Thompson et Frederick R. Steiner, p. 45-79. New York : John Wiley and sons, Inc.
- McHarg, Ian. 1997. « Ecology and design ». In *Ecological Design and Planning*, sous la dir. de George F. Thompson et Frederick R. Steiner, p. 321-332. New York : John Wiley and Sons, Inc.
- McIntyre, Nancy E., K. Knowles-Yanez et D. Hope. 2000. « Urban ecology as an interdisciplinarity field : differences in the use of "urban" between the social and natural sciences ». *Urban ecosystems*, vol. 4, p. 5-24.

- McLennan, Jason F. 2004. *The philosophy of sustainable design*. Bainbridge Is. (WA) : Ecotone, 324 p.
- Michigan, Franck. 2009. Communication personnelle, 1 juillet 2009.
- Miles, M. 1998. « Strategies for the convivial city : a new agenda for education for the built environment ». *International Journal of Art & Design Education*, vol. 17, no 1, p. 17-25.
- Murphy, Stephen D. et Larry R.G. Martin. 2001. « Urban ecology in Ontario, Canada : moving beyond the limits of city and ideology ». *Environments*, vol. 29, no 1, p. 67-84.
- Ndubisi, Forster. 1997. « Landscape ecological planning ». In *Ecological Design and Planning*, sous la dir. de George F. Thompson et Frederick R. Steiner, p. 9-44. New York : John Wiley and Sons, Inc.
- Niemelä, Jari. 1999. « Is there a need for a theory of urban ecology? » *Urban ecosystems*, vol. 3, p. 57-65.
- Oberndorfer, Erica, Jeremy T. Lundholm, Brad Bass, Reid R. Coffman, Hitesh Doshi, Nigel Dunnett, Stuart Gaffin, Manfred Köhler, Karen K. Y. Liu et D. Bradley Rowe. 2007. « Green roofs as urban ecosystems : ecological structures, functions, and services ». *BioScience*, vol. 57, no 10, p. 823-833.
- Olin, Laurie. 1997. « Landscape design and nature ». In *Ecological Design and Planning*, sous la dir. de George F. Thompson et Frederick R. Steiner, p. 109-139. New York : John Wiley and Sons, Inc.
- ONU. 1987. *Notre avenir à tous. Rapport de la Commission mondiale sur l'environnement et le développement*. Nairobi : Organisation des Nations Unies. En ligne < http://fr.wikisource.org/wiki/Notre_avenir_à_tous_Rapport_Brundtland > Consulté le 10 octobre 2007.
- ONU. 2007. *État de la population mondiale 2007 - Libérer le potentiel de la croissance urbaine*. New York : Fonds des Nations Unies pour la population. En ligne < <http://www.unfpa.org/swp/2007/english/introduction.html> > Consulté le 19 septembre 2009.
- Osmundson, Theodore. 1999. *Roof Gardens*. New York : W.W. Norton and Company, 318 p.
- Peck, Steven W., Chris Callaghan, Monica E. Kuhn et Brad Bass. 1999. *Greenbacks from green roofs : forging a new industry in Canada*. Société canadienne d'hypothèques et de logement, 78 p.

- Pickett, Steward T.A. 1997. « Integrated urban ecosystem research ». *Urban ecosystems*, vol. 1, p. 183-184.
- Pickett, Steward T.A., William R. Burch Jr., Shawn E. Dalton, Timothy W. Foresman, J. Morgan Grove et Rowan Rowntree. 1997. « A conceptual framework for the study of human ecosystems in urban areas ». *Urban ecosystems*, vol. 1, p. 185-199.
- Pickett, Steward T.A., M. L. Cadenasso et J. Morgan Grove. 2004. « Resilient cities : meaning, models, and metaphor for integrating the ecological, socio-economic, and planning realms ». *Landscape & Urban Planning*, vol. 69, p. 369-384.
- Porter, Eric E., Brian R. Forschner et Robert B. Blair. 2001. « Woody vegetation and canopy fragmentation along a forest-to-urban gradient ». *Urban ecosystems*, vol. 5, p. 131-151.
- PULSA. 1972. « The city as an artwork ». In *Arts of the environment*, sous la dir. de Gyorgy Kepes. New York : Georges Braziller.
- Rapoport, Amos. 2003. *Culture, architecture et design*. Gollion, Suisse : Infolio, 160 p.
- Raven, Peter H., Ray F. Evert et Susan E. Eichhorn. 2000. *Biologie végétale*. DeBoeck Université, 944 p.
- Restany, Pierre. 1978. *Hundertwasser*. Paris : Éditions du Chêne, 128 p.
- Roy, Simon N. 2003. « L'étude de cas ». In *Recherche sociale, 4^e édition : De la problématique à la collecte des données*, sous la dir. de Benoît Gauthier, p. 159-184. Sainte-Foy : Les Presses de l'Université du Québec.
- Sabourin, Paul. 2003. « L'analyse de contenu ». In *Recherche sociale, 4^e édition : De la problématique à la collecte des données*, sous la dir. de Benoît Gauthier, p. 357-385. Sainte-Foy : Les Presses de l'Université du Québec.
- Sauzet, Maurice. 1996. *Entre dedans et dehors*. Paris: C. Massin, 157 p.
- Sauzet, Maurice et Christiane Younès. 2003. *Habiter l'architecture*. Paris: C. Massin, 222 p.
- Schauman, Sally. 1997. « Beyond stewardship, toward partnership ». In *Ecological Design and Planning*, sous la dir. de George F. Thompson et Frederick R. Steiner, p. 239-262. New York : John Wiley and Sons, Inc.
- Stastny, Karel, et Vladimir Bejcek. 1989. *La vie dans la montagne*. Coll. « Approche de la nature ». Paris : Gründ, 183 p.
- Steiner, Frederick. 2004. « Urban human ecology ». *Urban ecosystems*, vol. 7, p. 179-197.

- Stokes, Donald W. 1991. *La nature en hiver, plantes et animaux sauvages en Amérique du Nord*. Coll. « Les guides Stokes de la nature ». Montréal : Éditions de l'Homme, 356 p.
- Takebayashi, Hideki et Masakazu Moriyama. 2007. « Surface heat budget on green roof and high reflection roof for mitigation of urban heat Island ». *Building and environment*, vol. 42, p. 2971-2979.
- Thompson, George F. et Frederick R. Steiner. 1997. *Ecological Design and Planning*. Coll. « Sustainable Design ». New York : John Wiley and Sons, Inc., 348 p.
- Tress, G., B. Tress et G. Fry. 2004. « Clarifying integrative research concepts in landscape ecology ». *Landscape ecology*, vol. 20, p. 479-493.
- Trottier, Antoine. 2008. *Toitures végétales : implantation de toits verts en milieu institutionnel*. Montréal : Centre d'écologie urbaine de Montréal, GRIP-UQAM, 80 p.
- Tuan, Y.F. 1974. *Topophilia : A study of environmental perception, attitudes, and values*. Englewood Cliffs (NJ) : Prentice Hall. Cité dans Ulrich, Roger S., Robert F. Simons, Barbara D. Losito, Evelyn Fiorito, Mark A. Miles et Michael Zelson. 1991. « Stress recovery during exposure to natural and urban environments ». *Journal of Environmental Psychology*, vol. 11, p. 201-230.
- Tzoulas, Konstantinos, Kalevi Korpela, Stephen Venn, Vesa Yli-Pelkonen, Aleksandra Kaźmierczak, Jari Niemela et Philip James. 2007. « Promoting ecosystem and human health in urban areas using green infrastructure : a literature review ». *Landscape and urban planning*, vol. 81, p. 167-178.
- Ulrich, Roger S. 1983. « Aesthetic and affective response to natural environment ». In *Human behavior and environment*, sous la dir. de I. Altman et J.F. Wohlwill, p. 85-125. New York : Plenum Press. Cité dans Ulrich, Roger S., Robert F. Simons, Barbara D. Losito, Evelyn Fiorito, Mark A. Miles et Michael Zelson. 1991. « Stress recovery during exposure to natural and urban environments ». *Journal of Environmental Psychology*, vol. 11, p. 201-230.
- , 1984. « View through a window may influence recovery from surgery ». *Science*, vol. 224, no 4647, p. 420-421.
- Ulrich, Roger S. et R. Parsons. 1992. « Influences of passive experiences with plants on individual well-being and health ». In *The role of horticulture in human well-being and social development* Portland (OR) : Timber Press Inc. Cité dans Peck, Steven W., Chris Callaghan, Monica E. Kuhn et Brad Bass. 1999. *Greenbacks from green roofs : forging a new industry in Canada*. Société canadienne d'hypothèques et de logement, 78 p.

- Ulrich, Roger S. et Robert F. Simons. 1986. *The costs of not knowing. Proceedings of the 17th Annual Conference of the Environmental Research Association (Washington, D.C.)*. J. Wineman, R. Barnes et C. Zimring Environmental Research Association. Cité dans Getter, Kristin L., et D. Bradley Rowe. 2006. « The role of extensive green roofs in sustainable development ». *HortScience*, vol. 41, no 5, p. 1276-1285.
- Ulrich, Roger S., Robert F. Simons, Barbara D. Losito, Evelyn Fiorito, Mark A. Miles et Michael Zelson. 1991. « Stress recovery during exposure to natural and urban environments ». *Journal of Environmental Psychology*, vol. 11, p. 201-230.
- Velazquez, Linda S. 2005. « Organic greenroof architecture : sustainable design for the new millennium ». *Environmental quality management*, vol. été, p. 73-85.
- Ville de Montréal. 2009. « Plan stratégique de développement durable de la collectivité montréalaise. Action 2.12 Îlots de chaleur urbains » En ligne
< http://ville.montreal.qc.ca/portal/page?_pageid=736,5226209&_dad=portal&_schema=PORTAL > Consulté le 14 décembre 2009.
- de Vries, Sierp, Robert A. Verheij, Peter P Groenewegen et Peter Spreeuwenberg. 2003. « Natural environments - healthy environments? An exploratory analysis of the relationship between greenspace and health ». *Environment and planning A*, vol. 35, p. 1717-1731.
- WCI. 2010. « The WCI Cap & Trade Program ». En ligne
< <http://westernclimateinitiative.org/the-wci-cap-and-trade-program> > Consulté le 25 février 2010.
- Whiston Spirn, Anne. 1984. *The Granite Garden Urban Nature and Human Design*. New York : Basic Books Inc., 334 p.
- World Resources Institute. 2000. *A guide to world resources 2000–2001. People and ecosystem: the fraying web of life*. Washington D.C. : United Nations Development Programme, World Bank.
- Wotton, Sir Henry. 1624. *Elements of Architecture*. Cité dans Frampton, Kenneth. 1972. « Travail, oeuvre et architecture ». In *Le sens de la ville*, p. 131-152. Paris : Les Éditions du Seuil.
- Yin, Robert K. 2003. *Case study research : design and methods*. Coll. « Applied socialresearch methods ». Thousand Oaks (CA) : Sage Publications, 181 p.
- Yuan, Jian-Gang, Wei Fang, Ling Fan, Yan Chen, Dong-Qing Wang et Zhong-Yi Yang. 2006. « Soil formation and vegetaion establishment on the cliff face of abandoned quarries on the early stages of natural colonization ». *Restoration Ecology*, vol. 14, no 3, p. 349-356.

Zartman, Charles E. et J. Dan Pitillo. 1998. « Spray cliff communities of the Chattoga basin ». *Castanea*, vol. 63, no 3, p. 217-240.